

Міністерство транспорту України
Українська державна академія залізничного транспорту

На правах рукопису

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

**Дисертація на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук**

Науковий керівник
Котенко Анатолій Миколайович,
доктор технічних наук,
професор

Харків – 2003

ЗМІСТ

Вступ	4
1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ І УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНІЧНИХ УМОВ НАВАНТАЖЕННЯ ТА КРІПЛЕННЯ ВАНТАЖІВ	11
1.1 Аналіз відмовлень деталей і пристроїв кріплення та незабезпе- чення схоронності вантажів на залізницях України	11
1.2 Аналіз діючих “Технических условий погрузки и крепления грузов”	14
1.3 Аналіз існуючих підходів до розрахунку деталей і інших при- строїв кріплення штабельних вантажів на відкритому рухомому складі та огляд літератури за темою	20
1.4 Постановка задачі, ціль та методи дослідження	32
Висновки	34
2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНІЧНИХ УМОВ НАВАНТАЖЕННЯ ТА КРІПЛЕННЯ ШТАБЕЛЬНИХ ВАНТАЖІВ НА ВІДКРИТОМУ РУХОМОМУ СКЛАДІ	36
2.1 Надійність деталей та інших пристроїв кріплення вантажів у ва- гонах	36
2.2 Критерії надійності та ефективності деталей, вузлів та пристро- їв кріплення вантажів	41
2.3 Довговічність деталей та інших пристроїв кріплення вантажів	49
2.4 Математичні моделі руху одиночних вантажів	52
2.5 Особливості технічних умов навантаження та перевезення шта- бельних вантажів	57
2.6 Удосконалення методів визначення сил, що діють на вантаж в процесі руху	63
2.7 Розробка математичних моделей руху штабельних вантажів	70

2.8 Удосконалення методів визначення стійкості вантажів від перекидання у вагонах	74
2.9 Розробка алгоритму та програмного забезпечення по визначенню способу навантаження та кріплення вантажів на відкритому рухомому складі	83
2.10 Імітаційне моделювання руху штабельних вантажів	86
Висновки	96
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ НАВАНТАЖЕННЯ ШТАБЕЛЬНИХ ВАНТАЖІВ НА ВІДКРИТОМУ РУХОМОМУ СКЛАДІ	99
3.1 Розробка методики експериментальних досліджень	99
3.2 Експериментальні дослідження переміщення та перекидання штабельних вантажів	102
Висновки	111
4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВАРІАНТІВ НАВАНТАЖЕННЯ ТА КРІПЛЕННЯ ШТАБЕЛЬНИХ ВАНТАЖІВ НА ВІДКРИТОМУ РУХОМОМУ СКЛАДІ	113
4.1 Визначення критерію оптимальних витрат залізниць та вантажовідправників на підтримку бажаного рівня забезпечення схоронності вантажів	113
4.2 Техніко-економічне обґрунтування впровадження удосконалених методів розрахунку кріплення штабельних вантажів на відкритому рухомому складі	116
Висновки	125
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ	127
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	130
ДОДАТКИ	141

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 [31, 83]. Причому особливі труднощі виникають при перевезенні штабельних вантажів, тому що дотепер не існує чітких методів розрахунку кріплення вантажів даної категорії.

Підставою для розробки теми дисертації є положення Концепції реструктуризації на залізничному транспорті України, що стосуються розробки та впровадження нових методів розрахунку способів навантаження та кріплення вантажів, а вихідними даними – технічні характеристики сучасного рухомого складу [16] та залізобетонних виробів [80], які перевозяться штабелями, а також діючі на даний час “Технические условия погрузки и крепления грузов” [88].

Необхідність проведення досліджень обґрунтовується сучасним станом безпеки руху, який склався на залізницях України, та бажанням Укрзалізниці зменшити збитки від наслідків браків, аварій та катастроф.

Актуальність теми

Існуючі на даний час “Технические условия погрузки и крепления грузов” [88] 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 перевозять-

ся згідно місцевих технічних умов, розрахованих за застарілими методами, а це часто приводить до розладнання навантаження та кріплення в процесі перевезення і до значних збитків.

Внаслідок невідповідності методів розрахунку і технічних умов фактичним умовам експлуатації залізниць не забезпечується безпека руху і схоронність вантажів. Так, згідно з [22], тільки за 2002 рік пунктами комерційного огляду на залізницях України було виявлено 4397 випадків незабезпечення безпеки руху та схоронності вантажів, 20% з яких приходить на штабельні вантажі, при повному дотриманні вантажовідправниками вимог “Технических условий погрузки и крепления грузов”.

Таким чином, виникає потреба в удосконаленні методів розрахунку і технічних умов навантаження та кріплення штабельних вантажів при перевезенні їх на відкритому рухомому складі, що кваліфікує тему дисертації як актуальну та направлену на вирішення важливої наукової задачі.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Робота виконувалась на кафедрі “Управління вантажною та комерційною роботою” Української державної академії залізничного транспорту у відповідності 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 у 1997 – 2001 роках (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-дослідних 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 та 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 в 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.

Методи дослідження

Для досягнення поставленої мети в дисертації використані такі методи і засоби дослідження:

- 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 за-

стосуванням принципу Даламбера, теореми про зміну кінетичної енергії в кінцевій формі та економічного аналізу;

- експериментальні, на базі натурних випробувань із застосуванням вимірювальних приладів;
- співставлення теоретичних та експериментальних досліджень з використанням методів статистичного аналізу та математичної обробки матеріалів спостережень експериментів.

Наукова новизна отриманих результатів

Наукова новизна полягає в тому, що була 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 кріплення на міцність з урахуванням відстані перевезень та їх довговічності;
- принципи розрахунку деталей, вузлів та інших пристроїв кріплення вантажу на особливий (евакуаційний) період.

Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій

Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій обумовлена коректністю постановки та вирішення задачі, 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 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 від 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.

В співавторстві було опубліковано дев'ять статей.

У роботах [27, 30, 34] автором розроблена та викладена методика проведення експериментальних досліджень та наведено їх основні результати.

В роботі [28] автором запропоновані методи розрахунку сил, які діють як на вантаж, так і на деталі кріплення, розроблені диференціальні рівняння руху штабельних вантажів.

В роботі [29] автором були запропоновані нові критерії для оцінки надійності та ефективності деталей та інших пристроїв кріплення вантажів.

В роботі [33] автором проаналізовано діючі на залізницях України “Технические условия погрузки и крепления грузов” та наведено основні напрямки їх удосконалення.

У роботах [35, 41] автором 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 [36] автором запропоновано критерій оптимального рівня схоронності вантажів.

Апробація результатів роботи

Основні положення дисертації докладались, 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.

Реалізація роботи

Результати роботи впроваджені на дочірньому підприємстві “Фінпрофіль”, товаристві з обмеженою відповідальністю “Сако” при розробці технічних умов навантаження та кріплення їх продукції. Результати роботи використані в навчальному процесі при підготовці спеціалістів зі спеціальності “Організація перевезень та управління на залізничному транспорті” на факультеті “Управління процесами перевезень” та при підготовці магістрів в Інституті перепідготовки і підвищення кваліфікації кадрів Української державної академії залізничного транспорту.

Публікації

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

Структура та обсяг дисертації

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.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ І УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНІЧНИХ УМОВ НАВАНТАЖЕННЯ ТА КРІПЛЕННЯ ВАНТАЖІВ

1.1 Аналіз відмовлень деталей і пристроїв кріплення та незабезпечення схоронності вантажів на залізницях України

Значну частину збитків залізниць України складають збитки від неправильного навантаження і кріплення вантажів у вагонах. Становище ускладнюється останнім часом через повсюдну відсутність пиломатеріалів і дроту, без яких навантаження і кріплення вантажів практично неможливо.

Внаслідок невідповідності методів розрахунку кріплення вантажів фактичним умовам експлуатації залізниць не забезпечується безпека руху та схоронність вантажів, утримується значна кількість працівників на пунктах комерційного огляду для утримання кріплення вантажів у робочому стані. Тільки за чотири роки (з 1995 по 1998 р. р.) [83] у вантажному господарстві залізниць України сталися два крахи, одна аварія, 35 браків особливого обліку, в тому числі 15 розвалів вантажу під час руху, 20 сходів вагонів у вантажних поїздах, не краще положення в цьому питанні і в подальші роки.

Згідно звітних даних по Укрзалізниці, за 2002 рік пунктами комерційного огляду 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” [22].

Всі випадки, які відбулися на залізницях України за останні роки, можна об'єднати по наступним загальним ознакам, які відбулися [40]:

– в результаті завантаження вагонів вантажовідправником понад вантажопідйомність. Наслідки перевантажень вагонів: зломи хребтових балок і шийок осей колісних пар вагонів;

– внаслідок розвалу вертикально навантажених вантажів (плит, панелей і т. і.). Падіння таких вантажів відбувається від розриву з'єднувальних штанг, стяжок, розкручення гвинтових з'єднань тощо. Наслідки розвалів – забруднення сусіднього шляху, пошкодження пристроїв і споруд сигналізації і зв'язку, шляхового господарства, перерва в русі поїздів і значні збитки від незбережень вантажів;

– в результаті навантаження залізобетонних плит, конструкцій і ін. в похилому положенні з опорою на стінки (борти) кузова піввагона. Наслідки - пошкодження бортів піввагона;

– внаслідок недостатнього очищення підлоги вагона, підкладок, опорної поверхні вантажу від снігу, льоду, бруду, мастила і не посипання тонким (1 ... 2 мм) шаром чистого сухого піску. Наслідки – падіння вантажів і контейнерів на сусідній шлях в кривих дільницях колії, пошкодження торцевих дверей піввагонів при розпуску з гірок і ін.;

– внаслідок технічної несправності опорно-кріпильних або турнікетних пристроїв для перевезення залізобетонних конструкцій і виробів. Серед можливих несправностей опорно-кріпильного пристрою – обрив зварного шва, вигин стійок і елементів, які огорожують, знос дерев'яних підкладок і упорних брусків. Часто вантажовідправник при розміщенні довгомірних вантажів на зчепі з двох платформ застосовує турнікетні опори власної конструкції, відмінної від турнікетів ЦНДІ МШС. Характерними несправностями цих турнікетів є пошкодження зварних швів кріплення шворнів, зминання суміжних поверхонь і ін. Наслідки – розвал турнікетів, пошкодження верхньої будови шляху, пристроїв сигналізації і зв'язку, пошкодження вантажів, розрив складу поїзда, завал сусідньої колії;

- в результаті падіння на залізничну колію деталей зворотного опорно-кріпильного пристрою або транспортера, не закріплених вантажоодержувачем;
- в результаті пошкодження залізобетонних виробів і конструкцій під дією динамічних навантажень при транспортуванні залізницею;
- внаслідок пред'явлення до перевезення залізобетонних виробів міцність яких не досягла проектної.

Технологічні заходи, що підвищують безпеку руху наступні.

Навантажування вертикальних вантажів (плит, панелей і ін.) в спеціальних касетах, опорно-кріплених пристроях, які виключають розвал вантажу.

Посилення контролю (застосування технічних засобів контролю на станціях) за дотриманням відправником технічних умов, введення матеріальної відповідальності вантажовідправників за порушення технічних умов.

Можливо сформувані основні напрямки досягнення бажаного рівня безпеки руху в вантажному господарстві залізниць:

- покращення обслуговування вантажів на пунктах комерційного огляду за рахунок збільшення кількості робітників і витрат матеріалу на усунення відмовлень кріплення. Для цього потрібно сформувані значні зусилля на підтримку кріплення вантажів в робочому стані на всьому шляху від відправника до одержувача, а також виділяти значні кошти на побудову і обладнання вагових пристроїв, механізованих площадок за рахунок залізниць;
- підвищення якості кріплення вантажів у вагонах шляхом запровадження додаткових елементів, за рахунок коштів вантажовідправників на матеріали і на оплату заробітної платні їх робітникам.

Значного зменшення витрат з одночасним підвищенням рівня безпеки руху та збереження вантажів, що перевозяться залізничним транспортом, можливо досягнути за рахунок наступних напрямків [40]:

- впровадження спеціалізованого рухомого складу;

- використання багатообігових турнікетних пристроїв для перевезення залізобетонних виробів та довгомірних вантажів;
- використання нових дешевих матеріалів для кріплення вантажів;
- використання комбінованого кріплення;
- впровадження автоматизованих систем контролю стану деталей кріплення, а також вантажу у шляху прямування;
- встановлення довговічності деталей кріплення вантажу у залежності від відстані перевезення.

1.2 Аналіз діючих “Технических условий погрузки и крепления грузов”

“Технические условия погрузки и крепления грузов”, які застосовуються в даний час на залізницях України, видані Міністерством шляхів сполучення СРСР ще у 1988 році і в на сьогодні істотно застаріли. Це пов’язано, по-перше, з концепцією України, як транзитної держави, створенням транспортних коридорів і необхідністю прискорення доставки і забезпечення схоронності вантажів, і, по-друге, треба враховувати, що за 15 років після видання нині діючих технічних умов вагонний парк значно оновлений, багато типів вагонів, які раніш використовувались, вилучені з експлуатації, а замість них використовується новий або модернізований рухомий склад [16].

Після проведення аналізу діючих “Технических условий погрузки и крепления грузов” були виявлені наступні недоліки і неточності [75].

Необумовлена номенклатура вантажів, які сьогодні отримують і відправляють підприємства. У даний час підприємствами України перевозиться понад півтори тисячі видів металопродукції, залізобетонних, керамзитових і азбестоцементних виробів і безліч інших вантажів, які вимагають крі-

плення під час перевезення. У технічних умовах ж на даний час всі ці вантажі об'єднані в десятих главах, а цього недостатньо. Ця класифікація може бути встановлена за такими параметрами: маса, розміри, конфігурація, умови розміщення на транспортних засобах, положення центра маси, конструктивні та міцні властивості, можливість пакування та штабелювання, тощо [41].

Не зовсім досконалі методи визначення потреби в реквізитах кріплення. Тобто немає диференціації в залежності від маси вантажу, який перевозиться, і відстані перевезення, що спричиняє за собою значні витрати вантажовласників, яких можливо було б уникнути. Що стосується відстані, то витрати матеріалів зараз однакові і для 100, і для 10000 км, а їх треба диференціювати наступним чином: до 100 км, 100 – 500 км, 500 – 1000 км, понад 1000 км. Це теж значно знизить витрати на реквізити кріплення. Тут також треба зазначити, що після оновлення вагонного парку залізниць України треба враховувати, що практично всі платформи тепер мають подовжній металевий настил шириною 1000 мм, а це істотно знижує коефіцієнт тертя і вимагає підсилити кріплення, а також те, що у піввагонів відсутнє дерев'яне обшивання торцових дверей.

У діючих технічних умовах немає методики встановлення доцільності (ефективності) перевезень тих чи інших виробів, що вимагають кріплення, у залежності від обсягів і відстаней перевезення в спеціально обладнаних для цього вагонах. Наведення цієї методики дозволить великим підприємствам скоротити потребу в реквізитах кріплення, трудовитратах і здешевіти перевезення.

Немає вказівок на те, кому дозволено розробляти схеми навантаження і кріплення для вантажів, не передбачених технічними умовами, хоча їх повинні розробляти тільки спеціалізовані організації (інститути, комерційні служби залізниць або технологічні бюро великих підприємств) і результати розроблення технічних умов не повинно залежати від того, хто їх розробляє (наприклад, у [88, формула 42] коефіцієнт n дорівнює 1, якщо технічні

умови включаються в мережні або місцеві технічні умови, і 1,25 – для способів перевезення вантажів, що затверджуються дирекціями залізниць) [75].

Для строповочних вузлів деяких вантажів, таких як скоби, петлі і ін., наведені загальні рекомендації про те, що вони повинні бути надійними. А треба встановлювати конкретні транспортні вимоги до цих деталей, тому що вони, як правило, виявляються не надійними, тобто незбалансованими з зусиллями в таких елементах кріплення, як розтяжки і обв'язки тощо. При цьому треба доповнити технічні умови значеннями навантажень, які допускаються на стійки піввагона на висоті, більшій, ніж 100 мм.

Треба також враховувати те, що за останні 15 років було проведено безліч досліджень в галузі багатообігових засобів кріплення вантажів (піраміди, касети і ін.), які значно скорочують витрати вантажовідправників на перевезення вантажів [5, 94, 103, 107]. Немає результатів розрахунків використання в закріпленні вантажів підкладок з залізобетону з дерев'яними вставками, підкладок з інших матеріалів, таких як гума, можливість використання в окремих випадках не суцільних прокладок.

Багато схем передбачають розтяжки з дроту діаметром 6 мм у 8 ниток, що важко реалізувати на практиці при провадженні робіт із застосуванням ручної праці. Бажано мати більше розтяжок, розосередивши їх по ярусах.

При переробці нині діючих, чи при розробленні нових технічних умов, треба передбачати варіантні рішення розміщення і кріплення вантажів у вагоні, тому що в деяких випадках рухомий склад має деякі пошкодження. Наприклад, у 80% піввагонів, які подавалися під навантаження на станції Харків-Балашовський, були відсутні середні скоби, за які у багатьох схемах кріпляться розтяжки [38]. Треба також враховувати, що більша частина робіт, які пов'язані із закріпленням вантажу, виконується вручну, і розтяжка з дроту діаметром 6 мм у вісім ниток потребує значних працевтрат.

Як показує практика (дослідження були виконані на кафедрі “Управління вантажною і комерційною роботою” Української державної академії залізничного транспорту), непрацездатними є схеми навантаження і кріплен-

ня таких вантажів, як палі, балки, колони, фундаментні блоки тощо. Це пов'язано з тим, що у багатьох з них (наприклад схеми, наведені на рисунках 4.7, 4.9, 4.33, 4.42, 4.79 та 4.80 “Технических условий погрузки и крепления грузов”) має місце розвал чи деформація вантажу під час перевезення; не відповідає реальному кількості ярусів, які укладаються на платформу (рисунки 4.27 – 4.30); не враховується той факт, що при перевезенні палі довжиною 10 м і більше, виникають додаткові згинальні моменти від вертикальних складових зусиль у розтяжках, в результаті чого відбувається розтріскування чи злам крайніх палі, особливо верхнього ярусу. У багатьох випадках (наприклад, рисунок 4.33а) має місце невідповідність або по проекціях, або рисунка з текстом. А деякі схеми і зовсім неможливо практично реалізувати (схема, наведена на рисунку 4.4 технічних умов, – вантаж у піввагоні завантажений практично в одному рівні з бортами піввагона, а це значно ускладнює закріплення верхніх обв'язок за борти піввагона) [31, 75].

Для вантажів, які навантажуються і перевозяться на відкритому рухомому складі, у зимовий період пропонується посипати підлогу вагона шаром піску, та наводяться коефіцієнти тертя для даного випадку [88]. Треба також навести значення коефіцієнту тертя для різних поверхонь, які труться між собою в процесі перевезення, і в літній період, коли підлога не посипається шаром піску.

Деталі кріплення вантажу для забезпечення надійності необхідно розраховувати на міцність і обмежену довговічність з урахуванням терміну експлуатації. Для одноразових деталей, таких як цвяхи, дерев'яні бруски та розтяжки з дроту, довговічність визначається границею терміну доставки з деяким коефіцієнтом запасу. Для багатообігових конструкцій довговічність установлюється границею терміну експлуатації, також з урахуванням коефіцієнта запасу і виконанням систематичних ремонтів.

Взагалі, існуюча у діючих “Технических условиях погрузки и крепления грузов” методика розрахунку сил, що діють на вантаж, не відповідає

сучасним умовам експлуатації залізниць та рівню розвитку науки і техніки [88].

Наприклад, поздовжня інерційна сила визначається як

$$F_{noz} = a_{noz} Q_{ван}, \quad (1.1)$$

де $Q_{ван}$ – маса вантажу, кг;

a_{noz} – питома поздовжня інерційна сила на одну тонну маси вантажу, яка визначається як

$$a_{noz} = a_{22} - \frac{Q_{ван}^{заг}(a_{22} - a_{94})}{72}, \quad (1.2)$$

де $Q_{ван}^{заг}$ – загальна маса вантажу у вагоні, кг;

a_{22} , a_{94} – питома поздовжня інерційна сила, Н, яка приймається відповідно при масі бруто вагона 22 та 94 т.

Тобто, на значення питомої поздовжньої сили впливає маса вантажу, який перевозиться в вагоні. Такі підходи до визначення поздовжньої інерційної сили є некоректними, тому що інерційна сила прямо пропорційна масі вантажу та прискоренню руху [4].

Подібним чином визначається і поперечна горизонтальна інерційна сила [88]

$$F_n = a_n Q_{ван}, \quad (1.3)$$

де a_n – питома поперечна інерційна сила, Н, на одну тонну маси вантажу приймається згідно [88, табл. 1.21], якщо центр ваги вантажу знахо-

диться у вертикальних поперечних площинах, що проходять через середину вагона a_c або шкворневу балку $a_{ш}$.

Якщо центр ваги розташований у других вертикальних площинах, a_n розраховується за формулою

$$a_n = a_c + \frac{2(a_{ш} - a_c)}{l_{в}} l_{ван} \quad (1.4)$$

де $l_{в}$ – база вагона, м;

$l_{ван}$ – відстань від центру тяжіння вантажу до вертикальної площини, яка проходить через поперечну вісь вагона, м.

Не отримує ніякої критики і визначення питомої вертикальної інерційної сили через сумнівні коефіцієнти

$$a_{в} = 25\theta k l_{ван} + \frac{214}{Q_{ван}^{заг}} \quad (1.5)$$

де k – коефіцієнт, який приймається рівним при навантаженні з опорою на один вагон – 5, а з опорою на два вагони – 20.

Викликає сумнів і доцільність зменшення поперечної сили тертя на величину питомої вертикальної інерційної сили

$$F_{тер}^n = Q_{ван} \mu (1000\theta a_{в}), \quad (1.6)$$

де μ – коефіцієнт тертя вантажу по підлозі вагона, підкладкам або опорній поверхні турнікету [88].

1.3 Аналіз існуючих підходів до розрахунку деталей і інших пристроїв кріплення штабельних вантажів на відкритому рухомому складі та огляд літератури за темою

Одними з перших технічних умов, які були розроблені у колишньому СРСР були “Технические условия погрузки и крепления грузов и использования грузоподъемности вагонов” [87].

За останні десятиріччя питаннями розміщення та кріплення штабельних вантажів на відкритому рухомому складі займалися у таких провідних установах, 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. Тут працювали такі видатні 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 інші.

Дослідженням кріплення вантажів багато займався Г. П. Єфімов [13, 21, 73], який працював у Всесоюзному науково-дослідницькому інституті залізничного транспорту (ВНДІЗТ). Їм були розроблені методичні вказівки по розрахунку кріплення вантажів з плоскими основами, штабельних, циліндричних, довгомірних, на колісному та гусеничному ході. Питомі величини поздовжніх, поперечних та вертикальних сил, які були рекомендовані ним виходячи з технічного оснащення та вимог експлуатації, використовувались в якості розрахункових норм при визначенні міцності кріплення вантажів до 1965 року. Під керівництвом Г. П. Єфімова або з його участю у 1946 – 1954 роках були розроблені технічні умови навантаження та кріплення автомобілів, лісу з “шапкою”, циліндричних, плоских та інших вантажів.

Але, після виходу цих методичних вказівок пройшло вже майже 50 років і їх використання в сучасних умовах не є доцільним, так як значно модернізований рухомий склад, змінилась номенклатура вантажів, які перевозяться залізничним транспортом, та значно підвищились вимоги до безпеки руху та схоронності вантажів.

Так, в дослідженнях [13, 21] наведені досить точні методи визначення відцентрової сили, вітрового навантаження, сил тертя та інерційних сил, які виникають при гальмуванні вагонів гальмівними башмаками та гірковими уповільнювачами, а також при гальмуванні автогальмами вагонів. Однак методику оцінки інерційних сил, які діють на вантажі при співударі вагонів [21, 73] для визначення нормативних величин поздовжнього прискорення не можна признати достатньо точною, так як вона дає лише приблизний результат. Автори виходять із припущення, що прискорення вантажу дорівнює середньому прискоренню вагона. Наприклад, Г. П. Єфімов визначає величину поздовжнього прискорення вантажу як відокремлене від ділення поздовжнього зусилля по автозчепленню, яке виникає при співударі двох вагонів, на масу вагона.

Є. М. Гохбом та Б. М. Хотин [97] оцінюють величину інерційної сили, яка діє на вантаж при співударі вагонів, за формулою

$$F_{\text{поз}}^c = \frac{Q_{\text{ван}} v_1^2}{2gl}, \quad (1.7)$$

де $Q_{\text{ван}}$ – маса одиниці вантажу, кг;

v_1 – швидкість вагона, що рухається, перед співударом з вагоном, який стоїть, м/с;

l – шлях вагона від моменту співудару до повної зупинки, м.

Користуючись методами, які були викладені в [21, 97], неможливо також встановити нормативні значення поперечного та вертикального прис-

корень для визначення поперечних і вертикальних інерційних сил, які діють на вантаж при перевезенні.

Одним з основоположників теорії та методів розрахунку кріплення, які використовуються у діючих “Технических условиях погрузки и крепления грузов”, можна вважати д. т. н. Малова Арнольда Дмитровича.

Одним із найсуттєвіших його внесків у теорію кріплення вантажів є дослідження в галузі підвищення нормативного коефіцієнта ковзання тертя. Він визначив, що підвищення нормативного коефіцієнта тертя ковзання тільки на 0,1 дає можливість зменшити витрати матеріалів на кріплення вантажів приблизно на 10 ... 12% [82]. Також було встановлено, що в умовах дії уздовж вагона поздовжніх інерційних сил, переміщення закріплених вантажів не повинне відбуватися, і тому в розрахунках кріплення можна враховувати величину коефіцієнта тертя ковзання вже на початку руху.

У ході експериментів, проведених під керівництвом Малова А. Д., було встановлено, що при визначенні коефіцієнта тертя між тертьовими поверхнями необхідно враховувати наступні умови:

- необхідно виконати як мінімум 20 ... 30 експериментів і при обробці отриманих результатів не потрібно враховувати перші 10, тому що під час їхнього проведення відбувається притирання контактуючих поверхонь;
- необхідно проводити експерименти з деревом вологістю до 20 ... 25 %;
- час нарощування зусилля до моменту прикладання його до початку зрушення вантажу повинний складати не менш 1 ... 3 с.;
- дослідження необхідно проводити як при плюсових, так і при мінусових температурах.

Отримані під час експериментів значення коефіцієнтів тертя [82] не можна брати до уваги в сучасних умовах, тому що більшість відкритого рухомого складу (платформ) мають на підлозі металевий настил шириною в один метр, що значно підвищує міцність підлоги, але значно знижує коефіці-

єнт тертя з одного боку, а з другого – не дає можливості кріпити підкладки та упорні і розпірні бруски гвіздками до підлоги вагону.

Під керівництвом Малова А. Д. було встановлено, що при зміні швидкості руху поїздів з 80 до 100 км/год значення вертикальних прискорень збільшуються приблизно на 30%, а поперечних – на 50% [53]. Також було встановлено, що вантажі з плоскими основами, які стійки до переміщення під час руху зі швидкістю 80 км/год, мають зсуви поперек вагону як мінімум на 490 мм. Завдяки йому було встановлено, що поздовжні інерційні сили, які діють на вантаж, виникають внаслідок співудару вагонів при маневрах та розпуску їх з сортувальних гірок, а також при рівномірному уповільненні вагонів під час сталого режиму гальмування поїзду. Всі ці дослідження дають можливість у теперішній час вдосконалити існуючу методику розрахунку кріплення вантажів при швидкостях руху поїздів, більших ніж 100 км/год.

Але, разом з цим, не було проведено жодного експериментального дослідження по переміщенню вантажів під час виконання маневрових операцій, коли поздовжні інерційні сили приймають максимальні значення.

Продовжив його дослідження ще один видатний вчений Єгоров С. О., яким у [19] була визначена методика розрахунку і виведені розрахункові формули для визначення зусиль у поперечних дротових ув'язуваннях від дії подовжніх сил, що зрушують, і запропоновані інженерні методи розрахунку цих зусиль. Він запропонував наступний порядок розрахунку поперечних дротових ув'язувань від подовжнього зрушення елементів вантажу у вагоні при багатоярусному навантаженні:

- вибирається припустима величина подовжнього зрушення елементів вантажу;
- визначається зусилля, що зрушує, від одного елемента вантажу, що повинне сприйматися поперечними ув'язуваннями;
- розраховується розпір від зрушення середніх елементів вантажу без обліку сил тертя в площинах зрушення;

- з умови рівноваги крайніх (нерухомих) елементів вантажу розраховується найбільша нормальна складова від розпору, від дії крайніх елементів вантажу і від дії елементів кріплення, що утримують весь ярус від подовжнього зрушення без обліку сил тертя в площинах зрушення;
- визначаються сили тертя в площинах зрушення;
- розраховується зменшення розпору поперечних ув'язувань від сил тертя;
- визначається поперечна складова найбільшого натягу ув'язувань;
- обчислюється результуючий розпір ув'язувань;
- розраховується найбільший натяг поперечного ув'язування;
- по найбільшому натягу підбирається необхідний перетин поперечних дротових ув'язувань.

На підставі зроблених досліджень і проаналізувавши приблизно 500 схем навантаження і кріплення вантажів на відкритому рухомому складі, він зробив наступні висновки:

- розрахунок елементів кріплення, що створюють з окремих одиниць вертикально завантажених виробів (стійкі, блоки тощо) у вагоні, проводиться на основі загальних методів технічної механіки з урахуванням зусиль у кріпленнях, які утримують штабелі як моноліти від переміщень і перекидання;
- поперечні стяжки з контрольованим натягом від подовжнього зрушення елементів вантажу розраховуються з умови відсутності зрушення одиниць вантажу, у штабелі відносно один одного в подовжньому напрямку за рахунок сил тертя в площинах зрушення, що не є вірним, тому що при коефіцієнті тертя між залізобетоном та деревиною рівним 0,45, все одно відбувається переміщення ярусів штабелю відносно один одного;
- елементи кріплення, які запобігають перекиданню окремих одиниць вантажу в поперечному напрямку від інерційних і вітрових навантажень, розраховуються з умови відсутності повороту (перекидання) всіх еле-

ментів вантажу в штабелі щодо власних ребер перекидання з урахуванням сил тертя між елементами вантажу і елементами кріплення;

- при закріпленні вантажів на відкритому рухомому складі декількома видами кріплень підбір перетинів елементів кріплень шляхом алгебраїчного додавання їхніх навантажувальних здібностей може привести до несхоронності вантажів і вагонів. Сполучення різних видів кріплень необхідно розраховувати з обліком їхніх пружних властивостей.

Під керівництвом Єгорова С. О. у дослідницькій лабораторії збереження вантажів Новосибірського дослідницького інституту залізничного транспорту (НДІЗТ) Курочкіним Г. П. та Тарликовим В. І. були проведені іспити дротових розтяжок на попереднє зтягнення при укручуванні після яких були зроблені наступні висновки [19, 85]:

- при закріпленні вантажів на відкритому рухомому складі дротовими розтяжками, обв'язками та ув'язками кінці нитей слід переплітати внапусток з основними нитями на прямих ділянках. З'єднувати кінці нитей дротових кріплень між собою скрутками він не рекомендує;

- експериментами було встановлено, що максимальні зусилля попереднього зтягнення дротових кріплень при закручуванні перевищують їх навантажувальні спроможності на 20 ... 80%. Для практичних розрахунків максимальні зусилля попереднього зтягнення дротових кріплень можна приймати рівними їх навантажувальній спроможності;

- при виборі попереднього зтягнення дротових кріплень, довжина їх прямолінійних ділянок в розрахунок не входить; її вплив слід враховувати тільки при контролі попереднього натягнення кріплень за рахунок кількості півобертів рукоятки при закручуванні;

- виведені емпіричні залежності та номограма дають можливість більш точно розглядати дротові кріплення вантажів на відкритому рухомому складі, а також проконтролювати їх натягнення в натурних умовах [85].

Як показує практика, закріплення вантажів дротовими розтяжками здійснюється вручну, без тих чи інших засобів механізації, що значно знижує

ті показники, які були отримані Єгоровим С. О. під час експериментальних досліджень. Внаслідок цього на протязі останніх 20 – 30 років залізниці несуть великі збитки від утримання великої кількості робітників пунктів комерційного огляду поїздів, основною задачею яких є відновлення ушкоджених елементів кріплення вантажів. Виходячи з цього, викликає великий сумнів той факт, що отримані номограми є коректними і працюють в реальних умовах.

Багато досліджень Єгоров С. О. провів в галузі розміщення та закріплення залізобетонних вантажів, які встановлюються на рухомий склад у вертикальному положенні. Згідно його досліджень, особі труднощі викликає навантаження і закріплення штабельних багатоярусних вантажів, які найбільш підвернені перекиданню із-за високого розташування центру мас виробів та малої ширини їх опорних площадок. Виходячи з цього, у НДІЗТ була розроблена конструкція та робочі креслення універсального багатообігового кріплення для перевезення у вертикальному положенні залізобетонних виробів на чотиривісних платформах з литими привареними стоїчними скобами.

На платформах з інвентарними кріпленнями залізобетонні вироби розміщуються симетрично, відносно центру платформи одним – чотирма пакетами по довжині та в декілька рядів до повної вантажопідйомності або місткості платформи наступним чином:

- при завантаженні виробів, які різняться по висоті, у перших рядах від поздовжньої вісі платформи встановлюються вироби висотою до 3,3 м; висота наступних рядів може бути знижена, але так, щоб різниця висот сусідніх рядів не перевищувала 1,2 м та крайні ряди повинні бути обов'язково висотою не менш 1,8 м;
- вироби висотою 1,2 та 1,8 м встановлюються вперемішку по ширині платформи;
- вироби висотою 1,2 або 1,8 м розподіляються рівномірно на всю ширину платформи;

– вертикальні та горизонтальні стики між виробами кожного ряду в штабелі перекриваються виробами двох сусідніх рядів.

Єгоров С. О. також ще у 1983 році [18] затверджував, що при перевезенні залізобетонних виробів на відкритому рухомому складі треба використовувати багатообігові опорно-кріпильні пристрої, тому що транспортування залізобетону в порівнянні з іншими будівельними вантажами відрізняється трудомісткістю та підвищеними грошовими витратами.

Після проведених ним досліджень було виявлено, що для кріплення більшості залізобетонних виробів (приблизно 70%) на залізничному рухомому складі використовуються, в основному, дерев'яні стійки, підкладки, упорні бруски в сполученні з гвіздками та будівельними скобами, дротові розтяжки, обв'язки та ув'язки. Витрата металевих виробів на один вагон при цьому коливається від 25 до 200 кг, лісоматеріалів – від 0,2 до 3,5 м³. Закріплення вантажу здійснюється вручну з великими трудовими витратами і затримками вагонів до 6 ... 8 годин. Збереженість же вантажів, рухомого складу та безпека руху при цьому не завжди забезпечуються, а коефіцієнт використання вантажопідйомності вагонів в ряді випадків коливається від 0,15 до 0,70.

З ціллю поліпшення організації навантаження та кріплення залізобетонних виробів на відкритому рухомому складі, скорочення матеріальних та трудових витрат на цю роботу, підвищення використання вантажопідйомності та місткості вагонів ним запропоновано використовувати багатообігові опорно-кріпильні пристрої.

На той час Єгоров С. О. виділяв наступні причини, по яким ці пристрої не використовувались [18]:

- немає достатніх техніко-економічних обґрунтувань необхідності використання багатообігових опорно-кріпильних пристроїв для перевезення залізобетонних конструкцій залізничним транспортом;
- відсутні нормативна та типова технічна документація на створення раціональних типів багатообігових пристроїв;

- не організовано централізоване серійне виробництво типових конструкцій та уніфікованих вузлів багатообігових пристроїв;
- відсутні єдині правила експлуатації та порядок обертання таких пристроїв, які регламентували б їх утримання в справному стані, матеріальну відповідальність та правові взаємовідносини між вантажовідправниками, вантажоодержувачами та транспортними організаціями [18, 20];

Ним були проведені попередні розрахунки техніко-економічних показників використання багатообігових опорно-кріпильних пристроїв для закріплення залізобетонних пристроїв і отримані наступні результати: розрахункова економія коштів при перевезенні 1 т залізобетонних виробів на відстань 1000 км з використанням багатообігових пристроїв в порівнянні з традиційним способом їх закріплення склав від 0,585 до 1,034 руб за цінами 1977 року.

Але не зважаючи на все раніш викладене, через приблизно 20 років в “Технических условиях погрузки и крепления грузов” і дотепер немає способів кріплення, у яких би використовувались багатообігові опорно-кріпильні пристрої.

Ще одним вченим, якій працював над питанням пошуку нових матеріалів для закріплення залізобетонних виробів на відкритому рухомому складі був Курочкін Г. П., яким було виявлено, що розтяжки з дроту, скрученого в кілька ниток, по-перше, витягаються і слабшають під дією навантажень з боку вантажу при зміні швидкості руху поїзда; по-друге, в ослабленому стані вони не можуть у достатній мірі утримувати вантаж у стійкому положенні; по-третє, при сильних поштовхах, не маючи пружного запасу, вони можуть вийти з ладу, або пошкодити вантаж чи кріпильні елементи рухомого складу [47]. З урахуванням цього автором було запропоновано кріплення вантажів від поздовжнього переміщення за допомогою пружних конструкцій, пружність яких досягається за рахунок спеціальних пружинних вставок визначеної твердості. Коефіцієнт твердості цих розтяжок підраховується в залежності від гранично припустимих значень сил, що забезпечують схорон-

ність вантажу, вагона і кріплення. Однак дана конструкція кріплення буде дуже дорогою і непрактичною у використанні.

Наступним кроком в методах розрахунку способів навантаження і кріплення штабельних вантажів на відкритому рухомому складі стало використання ЕОМ для полегшення громіздких розрахунків.

Одними з перших тут стали Войтюк Н. С. та Псеровська Є. Д., які провели розрахунок кріплення всіх можливих варіантів завантаження залізобетонних виробів на платформі у чотири штабелі на ЕОМ “Іскра-256” [11].

При попередніх дослідженнях ними було виявлено, що на кути нахилу розтяжок впливають наступні геометричні розміри: висота штабелю виробів в прямокутній частині габариту навантаження, яка може змінюватись від 0,8 до 2,7 м; максимальна – 3,2 м та мінімальна – 1,6 м ширина завантаження при ширині виробів менш 1,6 м завантаження повинно здійснюватись в два та більш рядів по ширині платформи; відстань від краю виробу до монтажної петлі, що коливається від 0,1 до 0,7 м в залежності від арматури, яка застосовується, маси та довжині виробів.

Виходячи з цього, було встановлено, що кут нахилу розтяжок до полу вагона α може змінюватись від 17,77 до 60,9°, кут між проекцією розтяжки на горизонтальну площину та поперечною віссю вагона β_n – від 60,38 до 90°; β_{noz} – від 0 до 29,62°. Вітрове навантаження на штабель виробів від навітряної поверхні штабелю, на розміри якої оказує вплив зміна довжини виробів від 2,8 до 3,2 м і висоти штабелю від 0,8 до 2,7 м. Тобто, розміри навітряної поверхні коливаються від 2,24 до 9,18 м², в результаті чого вітрове навантаження змінюється від 12 до 20 т.

При розрахунку кут α змінювався від 15 до 65°, кут β_n – від 55 до 90°, кут β_{noz} – від 0 до 35° з інтервалом в 5°; вітрове навантаження – від 1,0 до 5,0 кН з інтервалом 1,0 кН; маса штабелю – від 12 до 20 т. Всього було проаналізовано 7920 варіантів.

Аналіз отриманих результатів показав [11], що вітрове навантаження W_n оказує несуттєвий вплив на величину поперечного зусилля ΔF_n , яке приходить на елементи кріплення. При зміні W_n на 1,0 кН, ΔF_n збільшується тільки на 0,5 кН. Тому в подальших розрахунках W_n не змінювали, а приймали її максимальне значення – 5,0 кН. Ще ними було виявлено, що зміна кутів α і β_{noz} оказує несуттєвий вплив поздовжніх зусиль, які виникають в елементах кріплення.

В сучасних умовах використання отриманих значень $W_n, \Delta F_n, \alpha$ та β_{noz} є неможливим, тому що підвищились швидкості перевезення вантажів та зменшились конструктивні особливості практично усього парку вантажних вагонів, що використовуються сьогодні на залізницях України.

Серед сучасних вчених, які в теперішній час займаються питаннями завантаження та кріплення вантажів на відкритому рухомому складі можна було б виділити Псеровську Є. Д. та Туранову Г. О. та Туранова Х. Т. [91], які запропонували метод розрахунку кріплення вантажів, заснований на рішенні із використанням сучасного математичного апарату й обчислювальної техніки статично невизначеної задачі по відшукуванню зусиль у кріпленні з диференціальними рівняннями нелінійних коливань при наявності тертя ковзання. Суть даного методу зводиться до наступного:

- у залежності від жорсткості кожної окремо узятої розтяжки, довжини її проекції на горизонтальну площину і сліду на вертикальну площину визначається узагальнена жорсткість кріплення;
- виходячи з узагальненої жорсткості кріплення і маси вантажу, обчислюється частота коливань вантажу;
- за допомогою нелінійного диференціального рівняння руху визначається зсув вантажу при терті ковзання з післяударною швидкістю;
- за значеннями післяударної швидкості і частоти коливань встановлюється поздовжнє прискорення і визначається поздовжня сила інерції;

– з використанням основних положень опору матеріалів і теоретичної механіки визначаються зусилля в кріпленні, нормальна реакція зв'язку закріпленого на вагоні вантажу і координати точки її прикладання.

Автори затверджують, що розроблені ними розрахункова і математична моделі кріплення вантажів на вагоні є універсальними і придатні для вантажів будь-якої конфігурації. Але запропонований метод розрахунку кріплення вантажів у вагонах є дуже трудомістким і, отже, непогано було б автоматизувати його на ЕОМ.

В останній час гостро постає питання автоматизації розробки технічних умов та контролю за ними. Так, в [26] авторами пропонується створення єдиних банків даних технічних умов, які базуються на Концепції інформатизації залізничного транспорту Російської Федерації. Однак, автори пропонують збирати банки даних по вже розробленим технічним умовам, які мають широке використання. А концепція автоматизації передбачає автоматизувати увесь процес в цілому, з початку, тобто з вибору рухомого складу та схеми розміщення вантажу на ньому, і закінчуючи розрахунком кріплення. На сьогодні таких систем немає.

Сьогодні питаннями автоматизації процесу розробки нових технічних умов розміщення та кріплення тих чи інших вантажів глибоко займаються на кафедрі “Управління вантажною і комерційною роботою” Української державної академії залізничного транспорту. За останні 30 років кафедрою було розроблено приблизно 700 схем навантаження та кріплення вантажів різних категорій та запропоновано декілька нових підходів до розрахунку кріплення вантажів.

Так, у [68] автори запропонували модифікований координатний спосіб розрахунку дротових розтяжок, які закріплюють вантаж у вагоні. Даний спосіб дозволяє ураховувати істинне положення точок перегину розтяжок на верхніх ребрах вантажу і правильно знайти за допомогою ПЕОМ усі параметри, які необхідні для розрахунку вантажу у вагоні, за рахунок чого скорочується на 5 ... 10% потреба у реквізитах кріплення.

Але, всі методи розрахунку навантаження та кріплення штабельних вантажів на відкритому рухомому складі знайшли своє відображення у діючих сьогодні на залізницях України “Технических условиях погрузки и крепления грузов”.

Також відсутні дослідження з питань стійкості вантажів у вагонах проти перекидання у поперечному та поздовжньому напрямках.

1.4 Постановка задачі, ціль та методи дослідження

За результатами аналізу існуючих методів розрахунку навантаження і кріплення штабельних вантажів на відкритому рухомому складі, аналізу відмовлень кріплення вантажів і незабезпечення схоронності вантажів на залізницях України, а також аналізу діючих на мережі залізниць України “Технических условий погрузки и крепления грузов” були виявлені наступні недоліки:

1 “Технические условия погрузки и крепления грузов”, які в даний час застосовуються залізницями України, істотно застаріли;

2 У технічних умовах не зовсім досконали методи визначення потреби в реквізитах кріплення. Тобто немає диференціації в залежності від відстані перевезення, маси вантажу, який перевозиться, що спричиняє значні витрати вантажовідправників;

3 У діючих “Технических условиях погрузки и крепления грузов” відсутні методи встановлення ефективності перевезень вантажів, що вимагають кріплення, в залежності від обсягів і відстаней перевезення;

4 Усі методи розрахунку кріплення вантажів на відкритому рухомому складі базуються тільки на підходах, викладених у технічних умовах;

5 Значну частину збитків залізниць України складають збитки від недосконалості технічних умов навантаження і кріплення вантажів у вагонах. Становище ускладнюється останнім часом через повсюдну відсутність пило-

матеріалів і дроту, без яких навантаження і кріплення вантажів практично неможливо, залізниці вимушені утримувати великий штат робітників пунктів комерційного огляду для усунення відмов деталей та пристроїв кріплення вантажів у вагонах.

Таким чином, удосконалені методи розрахунку кріплення вантажів на відкритому рухомому складі, технологічні та економічні показники, які базуються на теоретичних розробках даної дисертаційної роботи, дозволяють кваліфікувати її як актуальну, направлену на вирішення важливої наукової задачі – удосконалення технічних умов навантаження та кріплення штабельних вантажів на відкритому рухомому складі.

Основною метою дисертаційної роботи є всебічні дослідження способів розміщення і кріплення одиночних та штабельних вантажів на відкритому рухомому складі та удосконалення методів розрахунку технічних умов навантаження і кріплення штабельних вантажів на відкритому рухомому складі.

Мета досліджень визначила коло задач, які вирішуються в дисертаційній роботі:

- 1 виконати аналіз сучасного стану методів розрахунку та методів удосконалення технічних умов навантаження та кріплення вантажів;
- 2 розробити критерії ефективності і надійності деталей та інших пристроїв для кріплення вантажів;
- 3 розробити математичні моделі переміщення штабельних вантажів у поздовжньому та поперечному напрямках;
- 4 удосконалити методи розрахунку деталей та інших пристроїв для кріплення штабельних вантажів на відкритому рухомому складі від поздовжнього та поперечного пересування;
- 5 розробити математичні моделі стійкості вантажу у вагоні до поздовжнього та поперечного перекидання;

6 визначити межу швидкості співудару вагонів та руху поїзда, що забезпечують стійкість вантажу у вагоні від поздовжнього та поперечного перекидання;

7 встановити оптимальний рівень схоронності вантажів.

Висновки

На підставі проведеного у першому розділі аналізу сучасного стану методів розрахунку та удосконалення технічних умов навантаження та кріплення вантажів можна зробити наступні висновки:

1 На сьогодні значну частину збитків залізниць України складають збитки від недосконалості технічних умов навантаження і кріплення вантажів у вагонах. Тільки за 2002 рік пунктами комерційного огляду на залізницях було виявлено 4397 випадків незабезпечення безпеки руху та схоронності вантажів, навантажених відповідно з “Техническими условиями погрузки и крепления грузов”, 20% з яких приходиться на штабельні вантажі. Внаслідок невідповідності методів розрахунку кріплення вантажів у вагонах фактичним умовам експлуатації залізниць не забезпечуються безпека руху та збереження вантажів, утримується значна кількість працівників на пунктах комерційного огляду для відновлення деталей та інших пристроїв для кріплення вантажів.

2 “Технические условия погрузки и крепления грузов”, що застосовуються на залізницях України, на сьогодні значно застаріли, а методи розрахунку і технічні умови навантаження і кріплення штабельних вантажів на відкритому рухомому складі недосконалі і не відповідають сучасним вимогам до забезпечення безпеки руху. В них не зовсім досконалі методи визначення потреби в реквізитах кріплення та відсутні методи встановлення ефективності перевезень вантажів, які вимагають закріплення, в залежності від обсягів і відстаней перевезення. Використані у технічних умовах методи роз-

рахунку сил, що діють на вантаж (таких як поздовжня інерційна сила F_{noz} , поперечна горизонтальна інерційна сила F_n , питома вертикальна інерційна сила a_g та поперечна сила тертя F_{me}^n), не відповідають сучасним умовам експлуатації залізниць та рівню розвитку науки і техніки.

3 Всі методи розрахунку кріплення і навантаження вантажів на відкритому рухомому складі, які на сьогодні існують, базуються на викладених у діючих технічних умовах підходах. Методи розрахунку деталей та інших пристроїв кріплення вантажів на міцність не враховують відстані перевезень та довговічності їх експлуатації.

4 Сучасні методи розрахунку стійкості вантажів у вагонах не відповідають реальним умовам експлуатації, що викликає нераціональні витрати матеріалів на закріплення проти перекидання та знижує конкурентоспроможність залізниць.

5 Необхідно в роботі вирішити наступні задачі:

- виконати аналіз сучасного стану методів розрахунку та удосконалення технічних умов навантаження та кріплення вантажів;
- розробити критерії ефективності і надійності деталей та інших пристроїв для кріплення вантажів;
- розробити математичні моделі переміщення штабельних вантажів (закріплених і незакріплених) у поздовжньому та поперечному напрямках;
- удосконалити методи розрахунку деталей та інших пристроїв для кріплення штабельних вантажів на відкритому рухомому складі від поздовжнього та поперечного пересування;
- розробити математичні моделі стійкості вантажу у вагоні до поздовжнього та поперечного перекидання;
- визначити межу швидкості співудару вагонів та руху поїзда, що забезпечують стійкість вантажу у вагоні від поздовжнього та поперечного перекидання;
- встановити оптимальний рівень схоронності вантажів.

РОЗДІЛ 2

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

2.1 Надійність деталей та інших пристроїв кріплення вантажів у вагонах

На мережі залізниць діє значна кількість внутрідорожних та міждержавних пунктів комерційного огляду вагонів і поїздів. При цьому комерційним оглядом зайнято кілька тисяч працівників, які здійснюють перевірку правильності навантаження і кріплення вантажів на відкритому рухомому складі, усуненням комерційних несправностей і забезпеченням схоронності вантажів [38]. Значні і витрати на чисельні ревізорські перевірки апаратом управління залізниць.

Під надійністю пристроїв і деталей кріплення вантажів розуміється властивість, яка гарантує схоронність вантажу і безпеку руху на всьому шляху проходження. Розглядаючи надійність кріплення вантажів як складних технічних систем можна установити наступні основні напрямки:

- формування основних понять, моделей відмовлень технічних засобів;
- створення структурних схем закріплення вантажів;
- встановлення впливу відмовлень технічних засобів на ефективність роботи складної системи закріплення вантажів;
- встановлення можливості прогнозування надійності кріплення вантажів на етапі технічного і робочого проекту;
- вивчення впливу на технічні відмови різних факторів: інтенсивності експлуатації системи, кліматичних факторів і ін.;

- визначення можливості створення надійних схем закріплення вантажів з окремих елементів обмеженої надійності;
- розробка заходів, які будуть проводитись на всіх стадіях експлуатації кріплення вантажів для досягнення необхідного рівня надійності;
- оцінка надійності схем навантаження та кріплення вантажів, як складних технічних систем [83].

Надійність деталей та інших пристроїв кріплення вантажу є комплексною властивістю і включає наступні критерії: безвідмовність, довговічність і ремонтпридатність. Безвідмовність матеріалів і деталей для навантаження і кріплення визначається, як властивість безпосередньо тари, одноразових і багаторазових засобів кріплення, також підкладок і прокладок беззупинно зберігати працездатність протягом деякого часу або деякого наробітку на відмовлення обмірюваної в тонно-км чи добах (годинах). Під відмовленням розуміється часткова чи повна втрата властивостей матеріалів і деталей та інших пристроїв кріплення, а також тари і строповочних петель вантажу, що приведе до зниження або повної втрати їх працездатності.

Типові приклади відмовлень деталей та інших пристроїв кріплення вантажів: обривання розтяжок і зрушення вантажу, зминання брусків і інше. Виникнення відмовлення пристроїв навантаження і деталей кріплення відбуваються внаслідок:

- помилок, допущених при розробці кріплення;
- порушення технології експлуатаційної роботи;
- недосконалість існуючих “Технических условий погрузки и крепления грузов”.

По характеру зміни параметра, що визначає надійність навантаження і кріплення до моменту відмовлення, останній може бути двох видів: раптовий і поступовий.

Раптове відмовлення не залежить від тривалості експлуатації вагона з закріпленим чи просто завантаженим у нього вантажем і виникають внаслідок випадкових зовнішніх впливів, що перевищують розрахункові можливо-

сті кріплення вантажу. Ознакою раптового відмовлення є незалежність імовірності його виникнення за даний проміжок часу від тривалості попередньої експлуатації вагона з цим вантажем. У цьому випадку відмовлення в кріпленні відбувається, як правило, раптово, без попередніх ознак руйнувань. З відзначених раніше відмовлень до цього виду можна віднести зрушення вантажу й uszkodження торцевих стін вагонів внаслідок перевищення швидкості стикування вагонів при маневровій роботі.

Поступове або ізносне відмовлення навантаження і кріплення є наслідком зносу в основному багатообігових засобів кріплення, опорно-кріпильних пристроїв, витягування розтяжок і залежить від відстані перевезення вантажу та умов експлуатації кріплення. При цьому, чим довше знаходиться в експлуатації кріплення, тим вище імовірність виникнення відмовлення. Поступові відмови пов'язані з процесами зносу, втоми і плинності матеріалів кріплення.

Відмови в кріпленні вантажу можна представити як: відмова функціонування, якщо кріплення вантажу не може виконувати свої функції в результаті обриву розтяжок, зрушення центру маси вантажу більш припустимих границь і ін. При відмові функціонування подальше проходження вагона з вантажем можливо тільки після відновлення кріплення.

Параметричні відмови, якщо параметри навантаження і кріплення знаходяться в границях, що допускаються, у місці продовження проходження вагона з вантажем може привести до відмови функціонування.

Під довговічністю навантаження і кріплення розуміється здатність системи кріплення елементів вантажу, деталей кріплення до експлуатації протягом терміну доставки вантажу (для засобів кріплення багаторазового використання – до тривалої експлуатації) при регламентованому технічному обслуговуванні і дотриманні необхідних видів ремонту на пунктах комерційного обслуговування. Особливе значення довговічність має для опорно-кріпильних пристроїв, різних багатообігових касет, знімних пристосувань багаторазового використання, турнікетів і т. і. Не врахування фактору довгові-

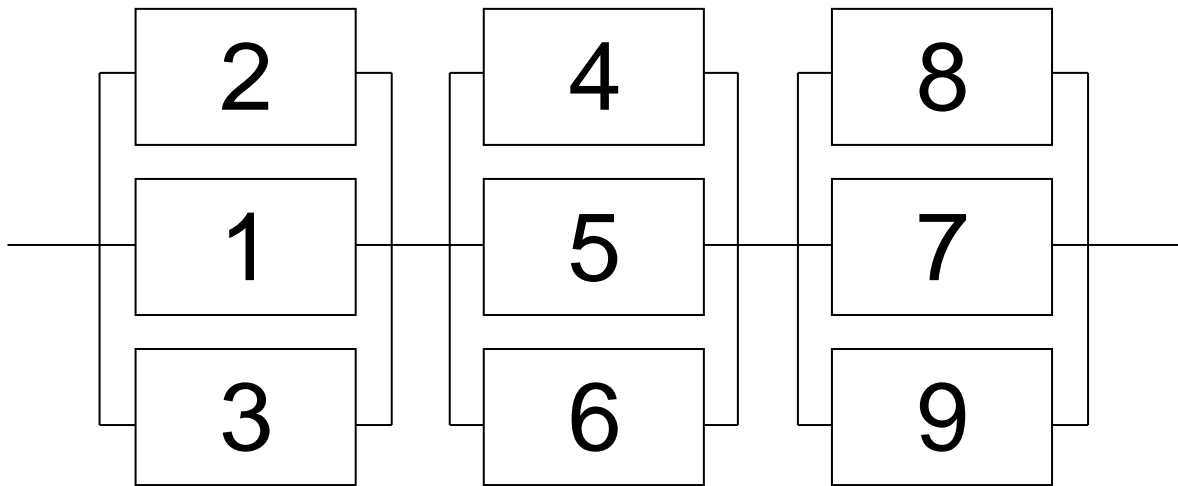
чності в практиці експлуатації багатообігових пристроїв приводить до значних втрат в експлуатаційній роботі [37].

Ремонтопридатність деталей кріплення визначається як властивість, що складається в попередженні і виявленні причин виникнення відмовлень, а також усунення наслідків відмовлень шляхом ремонту чи технічного обслуговування системи.

У загальному випадку задача надійності складних систем не вирішена. Основні труднощі складаються не в обчисленні по формулі, а в тому, що невідомі умовні імовірності і їх дослідне визначення вимагає неозорого об'єму експериментів. До надійності складних систем кріплення вантажів у вагонах, що складаються з великого числа елементів, треба підходити в такий спосіб: розробити систему на окремі прості частини, яка з фізичних міркувань незалежна і кожна частина вважається елементом (рис. 2.1). Для розрахунку надійності системи кріплення необхідно, насамперед, описати умови її працездатності, тобто викласти умови, при яких вона може виконувати задачі, що лежать перед нею [83].

Виходячи з розуміння класичної теорії надійності це можливо виконати такими способами: словесним описом, за допомогою структурної схеми або за допомогою функцій алгебри логіки [3]. У багатьох випадках аналітична модель вантажної станції (структурна схема) може містити повну інформацію про логіку виникнення відмов у системі. Таким чином, структурну схему можна розглядати як форму представлення логічних зв'язків між подією “відмовлення системи” і подією “відмовлення елементів”, адекватну логічній функції працездатності.

Аналітична модель кріплення являє собою графічне зображення сукупності окремих структурних елементів, а так само функціонально-логічних зв'язків між ними, призначене для формалізації умов працездатності станції. На структурній схемі всі елементи рівноцінні і це підкреслюється їх однаковим графічним зображенням (у виді квадрата) і однаковим літерним позначенням з різними номерами.



1, 2, 3 – деталі вагона, за які дозволяється кріплення вантажу;
 4, 5, 6 – дротові розтяжки, дерев'яні бруски, тощо;
 7, 8, 9 – строповочні вузли вантажу

Рис. 2.1 – Структурна схема до визначення надійності деталей та інших пристроїв кріплення вантажів

Під структурним елементом системи розуміється умовний еквівалентний елемент, що володіє кількісними характеристиками рухливості послідовно з'єднаних у функціональному змісті реальних елементів системи. Для кріплення структурним елементом є дротові розтяжки, дерев'яні бруски, цвяхи та ін. Складання структурних схем повинне здійснюватися з урахуванням функціонального взаємозв'язку між їх елементами.

Математичний опис зносу рівнянням наробітку найчастіше дозволяє уникнути помилок у розрахунках. Математична залежність між відмовленням елементів деталей кріплення і тонно-км перевезення має наступний вид

$$x_y = b_0 + b_1 y + b_2^2 y. \quad (2.1)$$

Коефіцієнти b_0, b_1, b_2 обчислюються шляхом вирішення системи

$$\left. \begin{aligned} b_0 N + b_1 \sum_{i=1}^N Y + b_2 \sum_{i=1}^N Y^2 &= \sum_{i=1}^N X; \\ b_0 \sum_{i=1}^N Y + b_1 \sum_{i=1}^N Y^2 + b_2 \sum_{i=1}^N Y^3 &= \sum_{i=1}^N XY; \\ b_0 \sum_{i=1}^N Y^2 + b_1 \sum_{i=1}^N Y^3 + b_2 \sum_{i=1}^N Y^4 &= \sum_{i=1}^N XY^2, \end{aligned} \right\} \quad (2.2)$$

де N – число одержуваних при спостереженні пар взаємозалежних величин.

У математичній формі для рішення на ЕОМ [96] вираз (2.2) приймає вид

$$\begin{bmatrix} N & \sum_{i=1}^N Y & \sum_{i=1}^N Y^2 \\ \sum_{i=1}^N Y & \sum_{i=1}^N Y^2 & \sum_{i=1}^N Y^3 \\ \sum_{i=1}^N Y^2 & \sum_{i=1}^N Y^3 & \sum_{i=1}^N Y^4 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^N X \\ \sum_{i=1}^N XY \\ \sum_{i=1}^N XY^2 \end{bmatrix}. \quad (2.3)$$

2.2 Критерії надійності та ефективності деталей, вузлів та пристроїв кріплення вантажів

Для підвищення безпеки руху і схоронності вантажів важливе значення має розробка критеріїв ефективності і надійності навантаження і кріплення вантажів [35, 44]. Справа у тому, що сучасні методи навантаження і розрахунку кріплення вантажів у вагоні не враховують значної безлічі випадкових факторів, від яких і залежить в остаточному підсумку безпека руху.

Запас тривкості за терміном служби деталей кріплення вантажу визначається як

$$K_d = \frac{T_\phi}{T_p} \times 10^4, \quad (2.4)$$

де T_ϕ – фактичний термін служби деталей кріплення вантажів, діб;

T_p – розрахунковий термін служби деталей кріплення вантажів, діб.

Інтенсивність параметричних відмов деталей кріплення на один кілометр перевезення

$$i_n = \frac{N_n}{L}, \quad (2.5)$$

де N_n – загальна кількість параметричних відмов за час перебування вантажу в дорозі;

L – відстань перевезення, км.

Інтенсивність функціональних відмов деталей кріплення на один кілометр перевезення

$$i_\phi = \frac{N_\phi}{L}, \quad (2.6)$$

де N_ϕ – загальна кількість функціональних відмов за час перебування вантажу в дорозі.

Інтенсивність параметричних відмов деталей кріплення за одиницю часу

$$i_n = \frac{N_n}{T_\phi}. \quad (2.7)$$

Інтенсивність функціональних відмов деталей кріплення за одиницю часу

$$i_{\phi} = \frac{N_{\phi}}{T_{\phi}}. \quad (2.8)$$

Інтенсивність параметричних відмов деталей кріплення на один ткм

$$i_n = \frac{N_n}{QL}, \quad (2.9)$$

де Q – маса вантажу у вагоні, т.

Інтенсивність функціональних відмов деталей кріплення на один ткм

$$i_{\phi} = \frac{N_{\phi}}{QL}. \quad (2.10)$$

Відношення часу на усунення відмов деталей кріплення на шляху доставки і часу на технічний і комерційний огляд вагонів

$$K_1 = \frac{t_{y.v.}}{t_{TKO}}, \quad (2.11)$$

де $t_{y.v.}$ – час на усунення відмов, год.;

t_{TKO} – час на технічний і комерційний огляд поїзда, год.

Відношення максимального прискорення ω , м/с², що діє на деталі кріплення, до прискорення сили тяжіння g

$$n = \frac{\omega}{g}. \quad (2.12)$$

Відношення максимальної напруги до допустимого значення напруги на деталі кріплення

$$\varepsilon = \frac{\delta}{|\delta|}, \quad (2.13)$$

де δ – максимальне значення напруги на деталі кріплення, Н/м²;

$|\delta|$ – допустиме значення напруги, Н/м².

Відношення маси матеріалів, необхідних на усунення відмовлень деталей кріплення до загальних витрат матеріалів на деталі кріплення вантажу на місці навантаження

$$K_2 = \frac{\theta_{у.в.}}{\theta_{к.ван}}, \quad (2.14)$$

де $\theta_{у.в.}$ – маса матеріалів на ремонт та усунення відмов, кг;

$\theta_{к.ван}$ – маса матеріалів на кріплення вантажів у вагоні, кг.

Відношення, які характеризують частку вагонів з комерційними пошкодженнями

$$K_3 = \frac{n_{від}}{n_{б.від} + n_{від}} = \frac{n_{від}}{n_{заг}} = \frac{n_{б.від}}{n_{заг}}, \quad (2.15)$$

де $n_{від}$ – кількість вагонів, відчеплених для усунення комерційних браків;

$n_{б.від}$ – кількість вагонів, відправлених без відчеплення;

$n_{заг}$ – загальна кількість вагонів з даним вантажем, відправлених зі станції за визначений період.

Відношення максимального фактичного пересування вантажу до допустимого пересування без пошкодження вантажу та кузова вагона

$$m = \frac{l_{\phi}}{l_Q}, \quad (2.16)$$

де l_{ϕ} – фактичне пересування вантажу, м;

l_Q – допустиме пересування вантажу без пошкодження вантажу та деталей вагона, м.

Використання вантажопідйомності вагона в свою чергу дорівнює

$$K_4 = \frac{P_{mex}}{P_{ван}}, \quad (2.17)$$

де P_{mex} – завантаження вагона згідно “Технических условий погрузки и крепления грузов”, т [88];

$P_{ван}$ – трафаретна вантажопідйомність вагона, т.

Витрата матеріалів на деталі кріплення на одну тонну маси вантажу

$$K_5 = \frac{q_1 + q_2 + \dots + q_n}{Q}, \quad (2.18)$$

де q_1, q_2, \dots, q_n – витрата матеріалів на кріплення вантажу (дроту, пиломатеріалів і ін.), т.

Витрати матеріалів на деталі кріплення на один ткм перевезення

$$K_6 = \frac{q_1 + q_2 + \dots + q_n}{QL}. \quad (2.19)$$

Витрати матеріалів на один км перевезення

$$K_7 = \frac{q_1 + q_2 + \dots + q_n}{L}. \quad (2.20)$$

Витрати матеріалів на один завантажений вагон

$$K_8 = \frac{q_1 + q_2 + \dots + q_n}{\sum n}, \quad (2.21)$$

де $\sum n$ – кількість завантажених вагонів.

Витрати матеріалів на один м³ вантажу

$$K_9 = \frac{V_{кр}}{V_{ван}}, \quad (2.22)$$

де $V_{кр}$ – об'єм витрати матеріалів на кріплення вантажу (дроту, пиломатеріалів, цвяхів тощо), м³;

$V_{ван}$ – об'єм вантажу, м³.

Співвідношення вартості закріплення вантажу і вартості вантажу

$$K_{10} = \frac{C_{кр}}{C_{ван}}, \quad (2.23)$$

де $C_{кр}$ – вартість деталей кріплення і витрати на кріплення вантажу, грн;

$C_{ван}$ – вартість вантажу, грн.

Співвідношення часу на кріплення вантажу і часу на навантаження вантажу у вагон

$$K_{11} = \frac{t_{кр}}{t_{наваг}}, \quad (2.24)$$

де $t_{кр}$ – час, який витрачається на кріплення вантажу, год;

$t_{наваг}$ – загальний час на навантаження, год.

Співвідношення часу на зняття деталей кріплення до загального часу розвантаження вагона

$$K_{12} = \frac{t_{з.кр}}{t_{роз}}, \quad (2.25)$$

де $t_{з.кр}$ – час на зняття деталей кріплення, год;

$t_{роз}$ – загальний час, який витрачається на розвантаження вантажу, год.

Критерій несхоронності вантажів під час перевезення

$$K_{13} = \frac{\sum H}{C_{ван}}, \quad (2.26)$$

де $\sum H$ – збитки від несхоронності вантажів, тис. грн;

$C_{ван}$ – вартість вантажу, тис. грн.

Критерій втрати вантажів на один ткм перевезення

$$K_{14} = \frac{\sum H}{\sum QL}. \quad (2.27)$$

Загальний критерій ефективності деталей та інших пристроїв кріплення вантажів буде дорівнювати добутку усіх цих коефіцієнтів, тобто

$$K = K_1 K_2 K_3 \dots K_{14}. \quad (2.28)$$

Використання даного критерію при розробці та визначенні ефективності нових технічних умов навантаження та кріплення вантажів дає можливість значно підвищити якість перевезень та знизити витрати матеріалів, які використовуються для кріплення.

Для розробки технічних умов на тяжкий період необхідно використовувати метод “максимального навантаження”, який полягає в тому, що технічні умови навантаження і кріплення вантажу повинні виконувати свої функції в межах строку доставки, або ж строку експлуатації багатообігових засобів, якщо зовнішні навантаження мають максимальні значення, а умови перевезень найбільш відрізняються від нормативних.

При використуванні методу “максимального навантаження” допускається [37], що:

- стикування завантажених вагонів при маневровій роботі на станціях і розпуску поїздів на сортувальних гірках відбувається з максимально можливими швидкостями;
- перевезення вантажу здійснюється в зимовий період;
- навантаження здійснюється на неочищену від снігу і льоду підлогу, а остання не посипається піском;
- матеріали кріплення мають дефекти та не повністю відповідають вимогам технічних умов;
- комерційний огляд вантажу і вагону, окрім огляду при їх прийманні і видачі, не передбачається.

2.3 Довговічність деталей та інших пристроїв кріплення вантажів

Звичайно при розрахунку деталей кріплення вантажів з різнорідних матеріалів в одноярусних схемах навантаження надлишкові сили розподіляються між ними у довільному порядку [72, 73], що в процесі експлуатації неминуче викликає відмовлення елементів кріплення, зміщення вантажу та створює небезпеку руху.

Найбільш розповсюдженими матеріалами у комбінованому кріпленні є дротові розтяжки, упорні та розпірні дерев'яні бруски.

Для розтяжок із дроту та стрижнів розрахунок на міцність ведеться по допустимих напруженнях розтягування встановленим порядком. Бруски, прокладки, підкладки розраховують по допущених напруженнях зминання [4, 12].

Розрахунок на обмежену довговічність розтяжок із дроту необхідно виконувати за межею текучості з урахуванням відносного подовження, що стримує кріплення за час доставки вантажу. При цьому умова забезпечення потрібної довговічності може бути записана як

$$\frac{0,01NL\Delta s}{l_r C \cos \alpha S i \beta_{noz}} \leq \varepsilon_0, \quad (2.29)$$

де N – кількість ударів, які одержує вагон з вантажем в одну сторону, на 100 км перевезення (у середньому за один раз розпуску з гірки і при маневровій роботі на станції вагон з вантажем одержує три удари в одному та один – у протилежному напрямку);

L – відстань перевезення, км;

l_r – довжина дротової розтяжки, м;

ΔS – середнє переміщення вантажу за один удар у подовжньому напрямку, м;

ε_0 – відносне подовження матеріалу дротової розтяжки, м;

α – кут нахилу розтяжки до площі підлоги вагона, рад;

β_{noz} – кут між проекцією розтяжки на горизонтальну площу і поперечну вісь вагона, рад.

Найменше значення довжини дротової розтяжки, яке забезпечує безпеку руху, дорівнює

$$L_{\min} \geq \frac{100 \Delta L}{\varepsilon}, \quad (2.30)$$

де ΔL – підсумкове збільшення розтяжки за строк доставки вантажу, м;

ε – відносне подовження розтяжки, см/м.

Для дерев'яних брусків умова забезпечення обмеженої довговічності в границях терміну доставки вантажу запишеться у виразі

$$\Delta S_b \frac{L}{100} N \leq /S/, \quad (2.31)$$

де ΔS_b – середнє переміщення вантажу за один удар при кріпленні його дерев'яними брусками, м;

$/S/$ – допустиме переміщення вантажу без руйнування кріплення (витягування цвяхів з дощок підлоги вагона), м.

Для вантажів при одноярусному навантаженні задача розподілення сил між розтяжками та упорними брусками розрешається наступним порядком.

Для знаходження сил, які викликають напруження у розтяжках та брусках у подовжньому напрямку маємо лише одну умову статички

$$\Delta F_{noz}^p + \Delta F_{noz}^{\sigma} = \Delta F_{no}. \quad (2.32)$$

Задача є статично невизначеною; друге рівняння отримаємо з розгляду вимог спільності деформацій з урахуванням того, що розтяжки подовжуються, а бруски зминаються на одну та ту ж величину Δ . З закону Гуку отримаємо [2, 50]

$$\Delta = \frac{\Delta F_{noz}^{\sigma} l_{\sigma}}{E_{\sigma} F_{\sigma}} = \frac{\Delta F_{noz}^p l_p}{E_p F_p}, \quad (2.33)$$

де $l_{\sigma}, F_{\sigma}, E_{\sigma}$ – робоча довжина, м, площа поперечного січення, м², та модуль пружності, Н/м², матеріалу упорних або розпирних брусків;

l_p, F_p, E_p – довжина, м, площа поперечного січення, м², та модуль пружності, Н/м², матеріалу дротових розтяжок.

Виходячи з виразів (2.32) та (2.33) отримуємо, що надлишкове зусилля, яке необхідно згасити кріпленням складе

$$\Delta F_{noz}^{\sigma} = \frac{\Delta F_{noz}^p l_p E_{\sigma} F_{\sigma}}{E_p F_p l_{\sigma}}; \quad (2.34)$$

$$\Delta F_{noz}^p = \frac{\Delta F_{noz}^{\sigma} l_{\sigma} E_p F_p}{E_{\sigma} F_{\sigma} l_p}.$$

Або в напруженнях

$$\sigma_{cm}^{\sigma} = \frac{\Delta F_{noz}^p l_{\sigma} E_{\sigma}}{E_p F_p l_{\sigma}};$$

$$\sigma_{cm}^p = \frac{\Delta F_{ноз}^p l_{\sigma} E_p}{E_{\sigma} F_{\sigma} l_p}. \quad (2.35)$$

Для вантажів, які допускають значне переміщення при перевезенні, розрахунок дротових розтяжок виконується на довговічність з умови

$$\Delta L_p < [\Delta L_p], \quad (2.36)$$

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

жу, м;

$[\Delta L_p]$ – подовження розтяжки з умови межі текучості матеріалу розтяжки, м.

ки, м.

2.4 Математичні моделі руху одиночних вантажів

Кінетична енергія переміщення вантажу у вагоні в поздовжньому напрямку гаситься роботою сили тертя та зусиллям пластичної деформації реквізитів кріплення

$$\frac{m}{2} \left[\left(\frac{dX_0}{dt} \right)^2 - \left(\frac{dX}{dt} \right)^2 \right] = K' n' \frac{\pi d^2}{4} [\sigma_m] C_o \alpha C_o \beta_{ноз} X_0, \quad (2.37)$$

де m – маса вантажу, кг;

$\frac{dX_0}{dt}, \frac{dX}{dt}$ – швидкість вагона, відповідно, до і після удару в автозчеплення, м/с;

$[\sigma_m]$ – межа текучості матеріалу дротових розтяжок, Н/м²;

- K, n – відповідно, площа січення, m^2 , та кількість розтяжок, які діють в одному напрямку;
- β_{noz} – кут між проекцією розтяжки на горизонтальну площу та позовжньою віссю вагона, рад;
- α – кут між розтяжкою та проекцією розтяжки на горизонтальну площину, рад;
- d – діаметр дроту, з якого зроблено розтяжку, м;
- X_0 – переміщення вантажу за один удар, м.

Дослідженнями Новосибірського дослідницького інституту залізничного транспорту встановлені залежності переміщення вантажів від швидкості зіткнення вагонів і жорсткості кріплення [81]. Очевидно, що малі затухаючі коливання вантажів виникають при значній жорсткості кріплення вже при жорсткості 120 мН/м. Амплітуда коливань становить для швидкості зіткнення 3,6 км/год – 1 мм, для швидкості 5,4 км/год – 1,9 мм і швидкості 9,0 км/год – 2,8 мм. Разом з тим, при зниженні жорсткості кріплення, зіткнення вагонів супроводжується не коливаннями, а переміщеннями вантажів по підлозі у бік руху. Так, при швидкості зіткнення 10,8 км/год і жорсткості кріплення 2 мН/м, амплітуда переміщення вантажів досягає 132 мм.

Використовуючи теорему про кінетичну енергію в кінцевій формі згідно якої зміна кінетичної енергії рухомої матеріальної точки дорівнює роботі прикладених до неї сил на пройденому цією точкою шляху, запишемо для першого поєднання сил вираз

$$\frac{m}{2} \left[\left(\frac{dX_0}{dt} \right)^2 - \left(\frac{dX}{dt} \right)^2 \right] = F_{ин} X_0, \quad (2.38)$$

де $F_{ин}$ – сила інерції, яка діє на вантаж, Н;

X_0 – пересування вантажу у напрямку вісі X, м.

Згідно з принципом Даламбера у кожний даний момент сила тертя $F_{тер}$, реакцій зв'язку (розтяжок) R_p та сила інерції $F_{ін}$ взаємно врівноважуються (рис. 2.2) [12]

$$R_p + F_{тер} + F_{ін} = 0, \quad (2.39)$$

звідки

$$F_{ін} = R_p + F_{тер}. \quad (2.40)$$

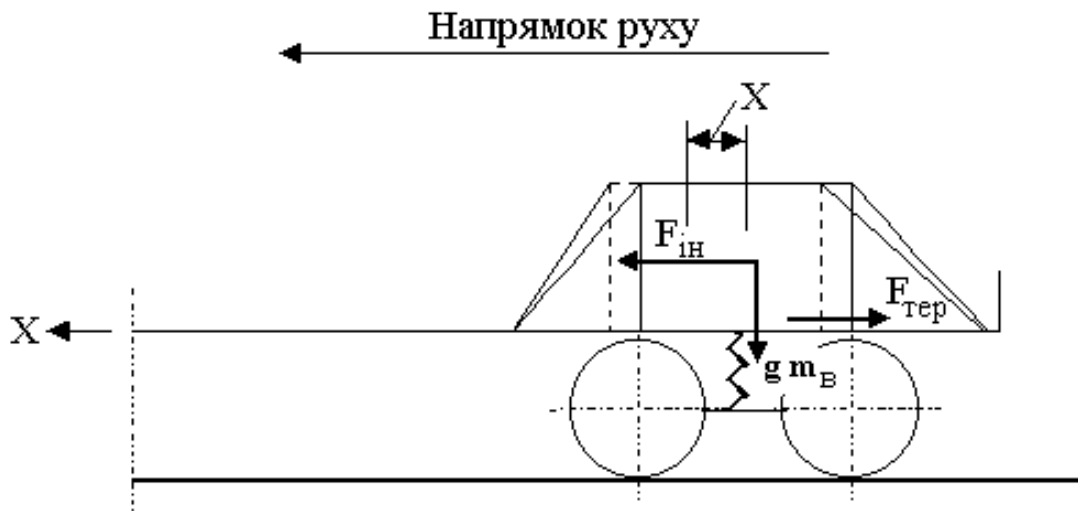


Рис. 2.2 – Схема положення вантажу при зіткненні вагонів

У даному випадку вираз (2.39) приймає вигляд

$$\sum_{i=1}^n F_{1i} + \sum_{j=1}^k F_{2j} + F_i = 0, \quad (2.41)$$

де F_{1i} – активні сили, які діють на вантаж, Н;

F_{2j} – сили реакцій зв'язків, Н;

F_i – сила інерції, Н.

Таким чином

$$\frac{m}{2}\left[\left(\frac{dX_0}{dt}\right)^2 - \left(\frac{dX}{dt}\right)^2\right] = (R_p + F_{мер}) X_0; \quad (2.42)$$

$$\begin{aligned} \frac{m}{2}\left[\left(\frac{dX_0}{dt}\right)^2 - \left(\frac{dX}{dt}\right)^2\right] = & K n' \frac{\pi d^2}{4} [\sigma_m] (\mu \sin \alpha + \cos \alpha \cos \beta_{noz}) X_0 + \\ & + mg \mu \operatorname{Sign}\left(\frac{dX_0}{dt}\right) X_0, \end{aligned} \quad (2.43)$$

де K, n' – кількість розтяжок, які розкріплюють вантаж в поздовжньому напрямку, та кількість ниток дроту у кожній з них;

μ – коефіцієнт тертя ковзання вантажу по підкладкам;

$\frac{dX_0}{dt}, \frac{dX}{dt}$ – відповідно кінцева та початкова швидкість руху вантажу по підлозі вагона, м/с;

$\operatorname{Sign}\left(\frac{dX_0}{dt}\right) = -1, +1$ – залежить від напрямку удару.

Перша складова правої частини останнього рівняння представляє роботу сил пластичної деформації розтяжок, а друга – роботу сили тертя при пересуванні вантажу під дією сили інерції [7].

Оскільки кінцева швидкість вантажу $\frac{dX}{dt} = 0$, то рівняння (2.43)

приймає вигляд

$$\begin{aligned} \frac{m}{2}\left(\frac{dX_0}{dt}\right)^2 = & \left[K n' \frac{\pi d^2}{4} [\sigma_m] (\mu \sin \alpha + \cos \alpha \cos \beta_{noz}) + \right. \\ & \left. + mg \mu \operatorname{Sign}\left(\frac{dX_0}{dt}\right) \right] X_0. \end{aligned} \quad (2.44)$$

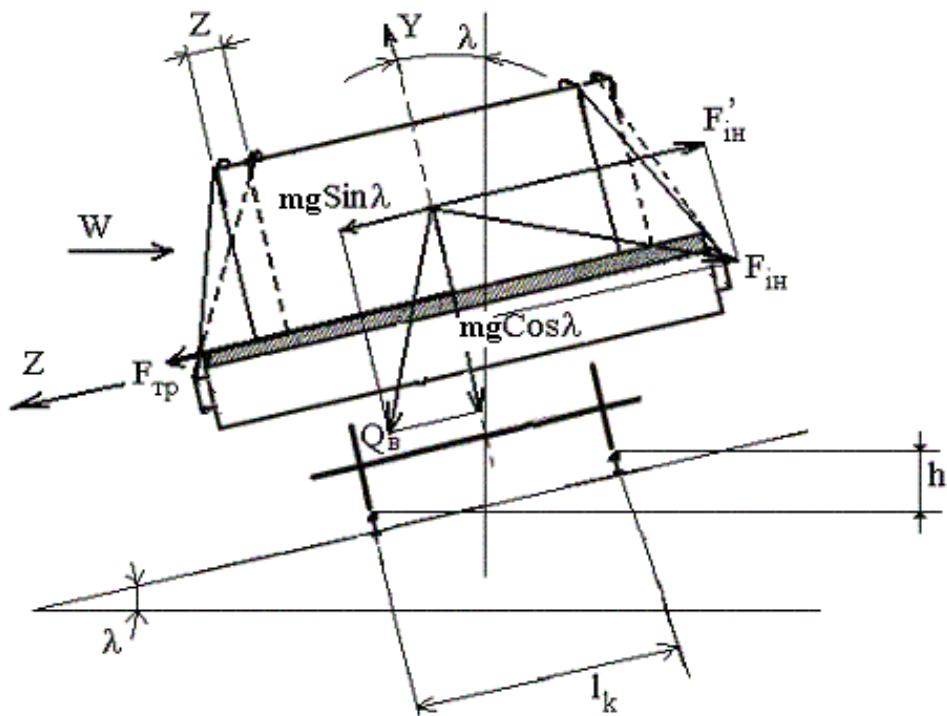


Рис. 2.3 – Схема положення вантажу на платформі в кривих та перехідних дільницях колії

Для другого поєднання сил (рис. 2.3) у проекціях на вісь Z для вантажів центр маси яких знаходиться в одній площині із поперечною віссю вагона враховується також вітрове навантаження

$$\frac{m}{2} \left(\frac{dZ_0}{dt} \right)^2 = \left[K^n n^n \frac{\pi d^2}{4} [\sigma_m] (\mu \sin \alpha + \cos \alpha \cos \beta_n) + mg \mu \operatorname{Sign} \left(\frac{dZ_0}{dt} \right) - pS \right] Z_0, \quad (2.45)$$

де K^n, n^n – кількість розтяжок, які закріплюють вантаж у поперечному напрямку, та кількість ниток дроту у кожній з них;

$[\sigma_m]$ – межа текучості матеріалу розтяжок, Н/м²;

α – кут нахилу розтяжки до підлоги вагона, рад;

$\beta_{\text{ноз}}$ – кут між проекцією розтяжки на горизонтальну площину і поздовжньою віссю вагона, рад;

- β_n – кут між проекцією розтяжки на горизонтальну площину і поперечною віссю вагона, рад;
- g – прискорення сили тяжіння, м/с²;
- Z_0 – пересування вантажу в напрямку вісі Z , м;
- p – питома вітрова навантаження, Н;
- S – площа поверхні дії вітру на вантаж, м².

2.5 Особливості технічних умов навантаження та перевезення штабельних вантажів

При перевезенні штабельних вантажів у піввагоні найбільш доцільним, стійким та безпечним способом буде комбіноване кріплення з використанням дротових розтяжок та упорних дерев'яних брусків (рис. 2.4) [75].

Поздовжнє зусилля, яке сприймається упорним бруском (передається на поріжок піввагона) та розтяжками, визначається згідно з (2.32).

Максимально допустиме (по січенню упорного бруска) поздовжнє зусилля, яке може бути передано на поріжок піввагона, визначається з виразу

$$\Delta F_{\text{но.в.}}^{\text{max}} = S_{\text{січ}} \sigma_{\text{доп}} k, \quad (2.46)$$

де $S_{\text{січ}}$ – площа спирання панелей (або плит) нижнього ярусу на упорний брусок, а через нього – на поріжок піввагона, м²;

$\sigma_{\text{доп}}$ – допустиме напруження зминання або стискання поперек волокон, Н/м²;

k – поправочний коефіцієнт для допускаємих напружень різних порід деревини.

Результат розрахунку $\Delta F_{но.б.}^{\max}$ не повинен перевищувати значень допустимого зусилля на поріжок [88].

Фактичне поздовжнє зусилля $\Delta F_{но.б.}^{\phi}$, Н, яке необхідно передати від штабелю вантажу на упорний (зі сторони поріжка піввагона) брусок, з урахуванням коефіцієнту тертя між ярусами вантажу, але без урахування сил тертя, які виникають за допомогою додаткових зусиль від розтяжок, складе

$$\Delta F_{но.б.}^{\phi} = Q_6 f_{noz} + (Q + Q + \dots + Q) \mu - (Q + Q + \dots + Q) \mu, \quad (2.47)$$

де Q, \dots, Q – маса верхнього та наступних ярусів, кг;

Q_6 – маса нижнього ярусу, кг;

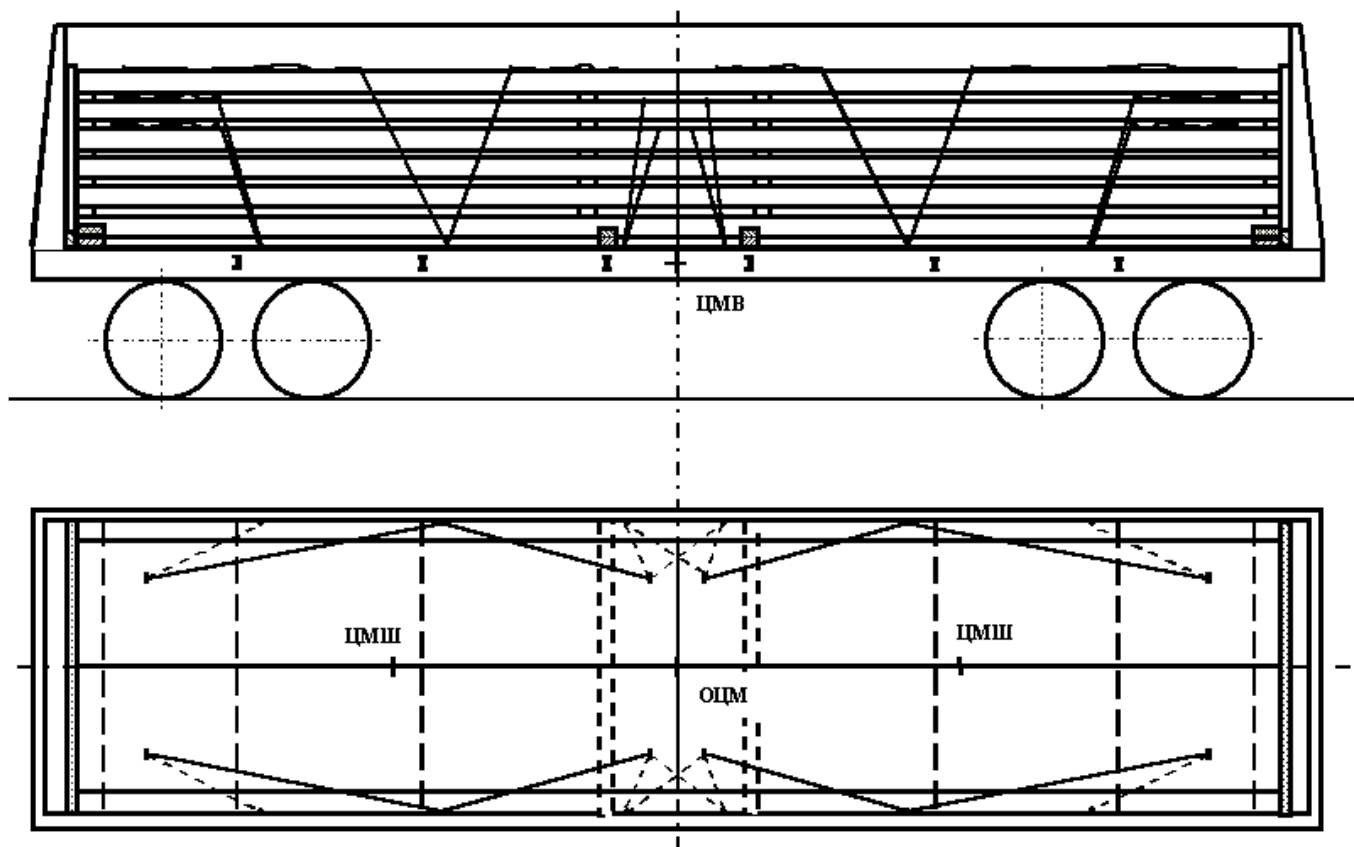
f_{noz} – питома поздовжня горизонтальна інерційна сила, Н;

μ, μ_1 – коефіцієнти тертя відповідно залізобетону по дереву та дерева по металу (підлозі вагона).

Фактичне зусилля, яке передається від вантажу на поріжок піввагона, не повинно перевищувати максимально можливе (по перерізу упорного бруска) зусилля, яке може бути передано на поріжок піввагона, або $\Delta F_{но.б.}^{\phi} \leq \Delta F_{но.б.}^{\max}$. Надлишкове поздовжнє зусилля від штабелю вантажу, яке сприймають розтяжки, складає

$$\Delta F_{но.р.} = \Delta F_{но.з} - \Delta F_{но.б.}^{\phi} \quad (2.48)$$

Розтяжки, які закріплюють верхній ярус штабелю, повинні у повній мірі виключати його переміщення відносно розташованих нижче штабелів. Розтяжки, що закріплюють яруси, які розташовані нижче повинні також виключати їх переміщення. При цьому враховується також збільшення сил тертя від маси ярусів, які розташовані вище, та від вертикальних складових зусиль в утримуючих їх розтяжках.



**Рис. 2.4 – Комбіноване кріплення штабельних вантажів
з використанням дротових розтяжок
та упорних дерев'яних брусків**

Поперечне зусилля, яке сприймається упорними брусками та розтяжками, складає

$$\Delta F_n = \Delta F_{n.б.} + \Delta F_{n.p.}, \quad (2.49)$$

де $\Delta F_{n.б.}$ – поперечне зусилля, яке сприймається упорними брусками, Н;

$\Delta F_{n.p.}$ – те ж, розтяжками, Н.

Розрахункове поперечне зусилля, $\Delta F_{n.б.}^{\max}$, Н, яке можна передати від штабелю через два дерев'яних упорних бруска, що закріплюються на підкладках, та працюючих на стиск уздовж (поперек) волокон, на бокові стійки піввагона, визначається за формулою (2.46) .

Фактичне поперечне зусилля, яке необхідно передати від одного штабелю на дві бокові стійки піввагона через бокові упорні бруски (без урахування сил тертя, що утворюються додатковим вертикальним зусиллям від розтяжок), дорівнює

$$\Delta F_{н.б.}^{\phi} = 1,25 \left[Q_6 f_n + (Q + Q_2 + \dots + Q_5) \mu (1 - f_v) \right] - (Q + Q_2 + \dots + Q_6) \mu (1 - f_v) \quad (2.50)$$

де 1,25 – коефіцієнт запасу стійкості вантажу по відношенню до поперечного поступального переміщення;

f_n – питома горизонтальна інерційна сила, Н;

f_v – питома вертикальна сила, Н.

Фактичне поперечне зусилля, яке передається від вантажу на бокові стійки піввагона через упорні бруски, не повинно перевищувати максимально можливе зусилля, яке може бути передано на бокові стійки, тобто $\Delta F_{н.б.}^{\phi} \leq \Delta F_{н.б.}^{\max}$.

Надлишкове поперечне зусилля від одного штабелю вантажу, яке сприймають розтяжки, складає

$$\Delta F_{н.р.} = \Delta F_n - \Delta F_{н.б.}^{\phi} \quad (2.51)$$

При малих значеннях ΔF_n розрахунок ведеться в зворотній послідовності, тобто спочатку для розтяжок, а потім для упорних брусків (потреби в яких може і не бути).

Розміщення штабелю залізобетонних плит на платформі та сили, які діють на кожний ярус у поздовжньому напрямку, наведені на рис. 2.5.

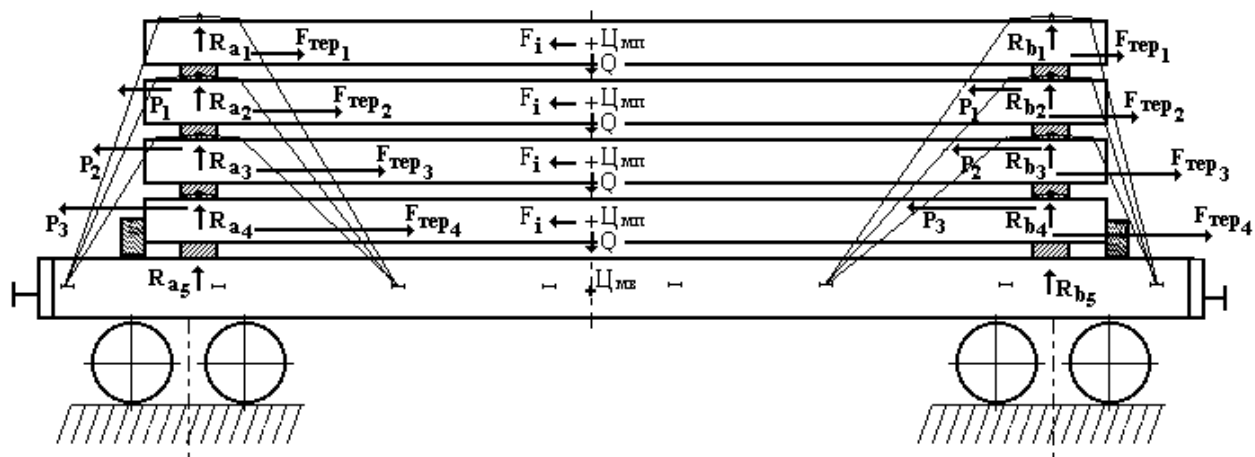


Рис. 2.5 – Схема розміщення штабелю вантажу на платформі, та сил, які діють на нього

Надлишкове зусилля, яке необхідно згасити кріпленням (дротовими розтяжками), складе

на першому ярусі в поздовжньому напрямку

$$\Delta F_{n_{013}} = F_{n_{03}}^i - F_{тер} \quad (2.52)$$

$$\left(F_{тер} = Q\mu \right)$$

на другому ярусі

$$\Delta F_{n_{023}} = F_{n_{03}}^i - F_{тер} + P_1, \quad (2.53)$$

$$\left(P_1 = F_{тер}; F_{тер} = 2Q\mu \right)$$

на третьому ярусі

$$\Delta F_{n_{033}} = F_{n_{03}}^i - F_{тер} + P_2, \quad (2.54)$$

$$\left(P_2 = F_{тер}; F_{тер} = 3Q\mu \right)$$

на четвертому (нижньому) ярусі (упорними і розпірними брусками)

$$\Delta F_{n o \bar{z}} = F_{n o \bar{z}}^i - F_{m e \bar{p}} + P_3, \quad (2.55)$$

$$(P_3 = F_{m e \bar{p}}; F_{m e \bar{p}} = (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4) \mu)$$

В поперечному напрямку розрахунок ведеться аналогічно.

Згідно “Технических условий погрузки и крепления грузов” [88], при закріпленні тільки верхнього та наступного за ним ярусу дротовими розтяжками, можливо ушкодження вантажу від зусиль, які виникають у точках перетину розтяжок. З цієї причини необхідна перевірка залізобетонного виробу на міцність по напруженням перетину, що допускається. Для прикладу на рис. 2.6 наведена розрахункова схема залізобетонної палі та епюра згинаючих моментів [46].

Згинаючий момент у небезпечному січенні визначається з виразу

$$M_{\max} = -R_6 \frac{C}{2} + S_6 \left(\frac{C}{2} + a \right) + S_6 \left(\frac{C}{2} - a \right) + \frac{q}{2} \left(\frac{C}{2} + b \right)^2. \quad (2.56)$$

Умова міцності палі

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W} \leq [\sigma], \quad (2.57)$$

де W – момент опору палі у небезпечному розрізі, Н·м.

Дотичні напруги

$$\tau = \frac{QS}{I_x b} \leq [\tau]. \quad (2.58)$$

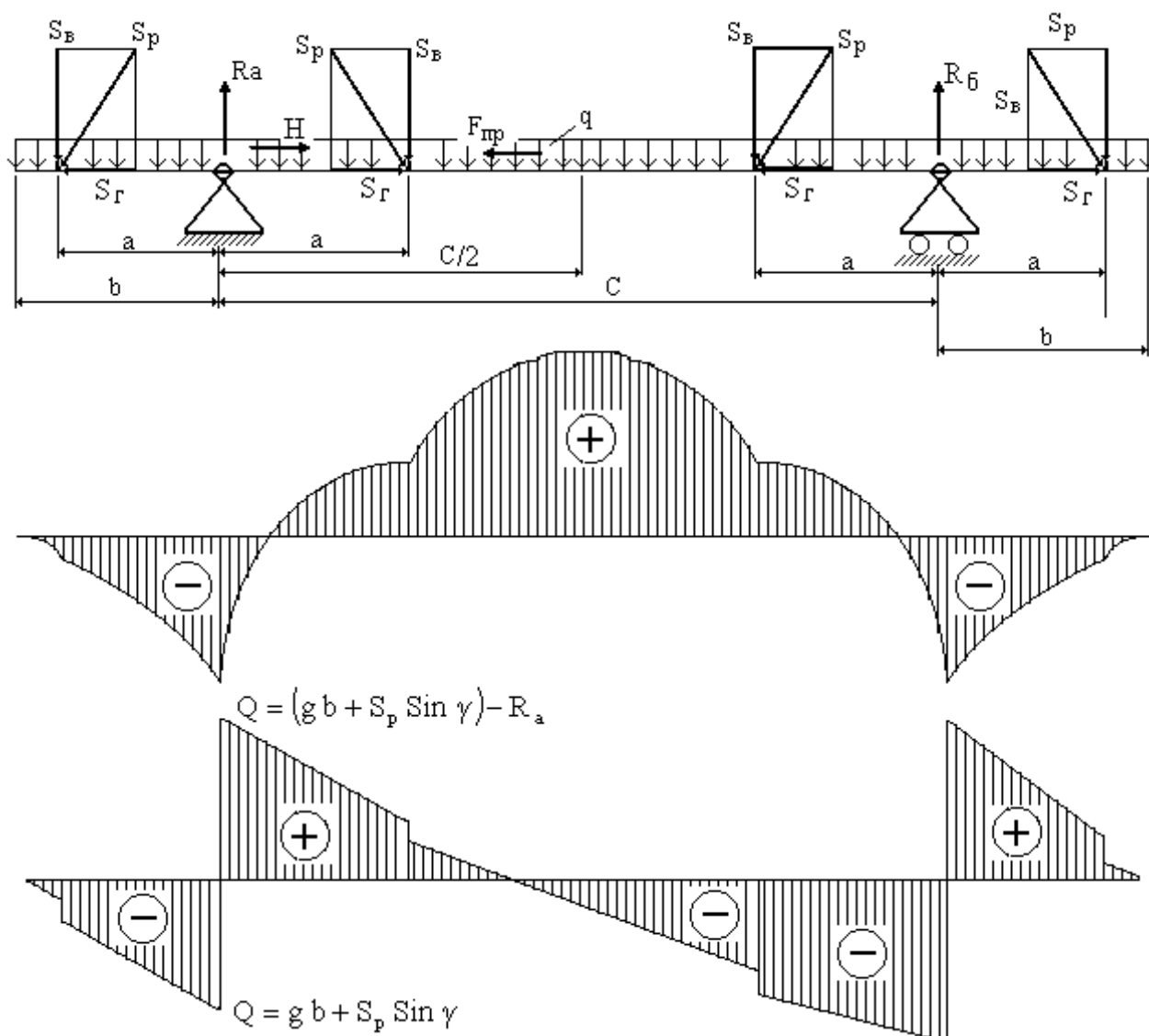


Рис. 2.6 – Схема сил, що діють на залізобетонну палю, еюра згинаючих моментів та поперечних сил

2.6 Удосконалення методів визначення сил, що діють на вантаж в процесі руху

Як вже відзначалось раніше, найбільші навантаження отримують деталі кріплення вантажів під час зіткнення вагонів в результаті виконання маневрових операцій і розпуску з гірок. При цьому на вантаж діють сила тя-

жіння, інерційна сила і сила тертя. Розрахунок цих сил доцільніше проводити за допомогою принципу Даламбера, згідно якому у кожний даний момент сила тертя, реакції зв'язку (розтяжок) та сила інерції взаємно урівноважуються (2.41).

Причому тут мають місце два види переміщення вантажу: перший – коли швидкість співудару вагонів не перевищує 4,32 км/год і вантаж переміщується по підлозі вагону, та другий – коли швидкість співудару більша, ніж 4,32 км/год – відбувається відрив вантажу від підлоги і сила нормального тиску приймається рівною 0. Розглянемо ці два випадки доцільніше.

Сили, діючі на штабель вантажу в першому випадку, при безвідривному русі, наведені на рис. 2.5. В даному випадку, згідно принципу Даламбера, вони будуть розраховуватись наступним чином:

- для першого ярусу

$$F_1^i = \ddot{x}m_n; \quad F_1^{mep} = \mu m,$$

$$\Delta F_1^{noz} = F_1^i - F_1^{mep} = \ddot{x}m_n - \mu m; \quad (2.59)$$

- для другого ярусу:

$$F_2^i = \ddot{x}m + F_1^{mep} = \ddot{x}m + \mu m, \quad F_2^{mep} = 2m\mu,$$

$$\Delta F_2^{noz} = F_2^i - F_2^{mep} = \ddot{x}m - \mu m; \quad (2.60)$$

- для і-ого ярусу:

$$F_i^i = \ddot{x}m + F_{i-1}^{mep} = \ddot{x}m + (i-1)\mu m, \quad F_n^{mep} = i m \mu,$$

$$\Delta F_i^{noz} = F_i^i - F_i^{mep} = \ddot{x}m - \mu m, \quad (2.61)$$

де m – маса однієї плити (ярусу), кг;

μ – коефіцієнт тертя;

i – кількість ярусів.

Зусилля у розтяжках у даному випадку для кожного ярусу запи-
шеться як

$$R_n^{noz} = \frac{\Delta F_{noz}^p}{n_{p_n}^{noz} (\mu \sin \alpha_n - \cos \alpha_n \cos \beta_{noz_n})}. \quad (2.62)$$

У випадку, коли сила нормального тиску $N = P$ (рис. 2.5) сили, що діють на вантаж, будуть розраховуватись як

– перший ярус:

$$F_1^x = \ddot{x}m \cos \varphi, \quad F_1^y = \ddot{y}m \sin \varphi;$$

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

$$\Delta F_1^{epm} = \ddot{y}m \sin \varphi - mg. \quad (2.63)$$

– другий ярус:

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

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

$$\Delta F_2^{epm} = \ddot{y}m \sin \varphi - 2mg. \quad (2.64)$$

– і-ий ярус:

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

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

$$\Delta F_i^{berm} = \ddot{y}m \sin \varphi - i mg. \quad (2.65)$$

У випадку, коли швидкість співудару вагонів рівна або більша, ніж 4,3 км/год а сила нормального тиску $N=0$ (рис. 2.7) відбувається відрив вантажу від підлоги вагона і сили, діючі на вантаж, будуть розраховуватись як

– перший ярус:

$$F_1^x = \ddot{x}m \cos \varphi; \quad F_1^y = \ddot{y}m \sin \varphi; \quad F_1^{mep} = \mu N; \quad N=0;$$

$$\Delta F_1^{zop} = \ddot{x}m \cos \varphi;$$

$$\Delta F_1^{berm} = \ddot{y}m \sin \varphi - P; \quad (2.66)$$

– другий ярус:

$$F_2^x = \ddot{x}m \cos \varphi + F_1^{me}; \quad F_2^y = \ddot{y}m \sin \varphi; \quad F_2^{mep} = 2\mu N; \quad N=0;$$

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

$$\Delta F_2^{berm} = \ddot{y}m \sin \varphi - P; \quad (2.67)$$

– і-ий ярус:

$$F_i^x = \ddot{x}m \cos \gamma + F_{(i-1)}^{me}; \quad F_i^y = \ddot{y}m \sin \gamma; \quad F_i^{me} = i \mu N; \quad N = 0;$$

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

$$\Delta F_i^{berm} = \ddot{y}m \sin \gamma - P. \quad (2.68)$$

В свою чергу, зусилля у розтяжках тут буде визначатись як

$$R_n^{noz} = \frac{\Delta F_{noz}^{p.2.}}{n_p^{noz} (\cos \alpha_{noz} \cos \beta_{noz})} + \frac{\Delta F_{noz}^{p.6.}}{n_p^{noz} \sin \alpha_{noz}}. \quad (2.69)$$

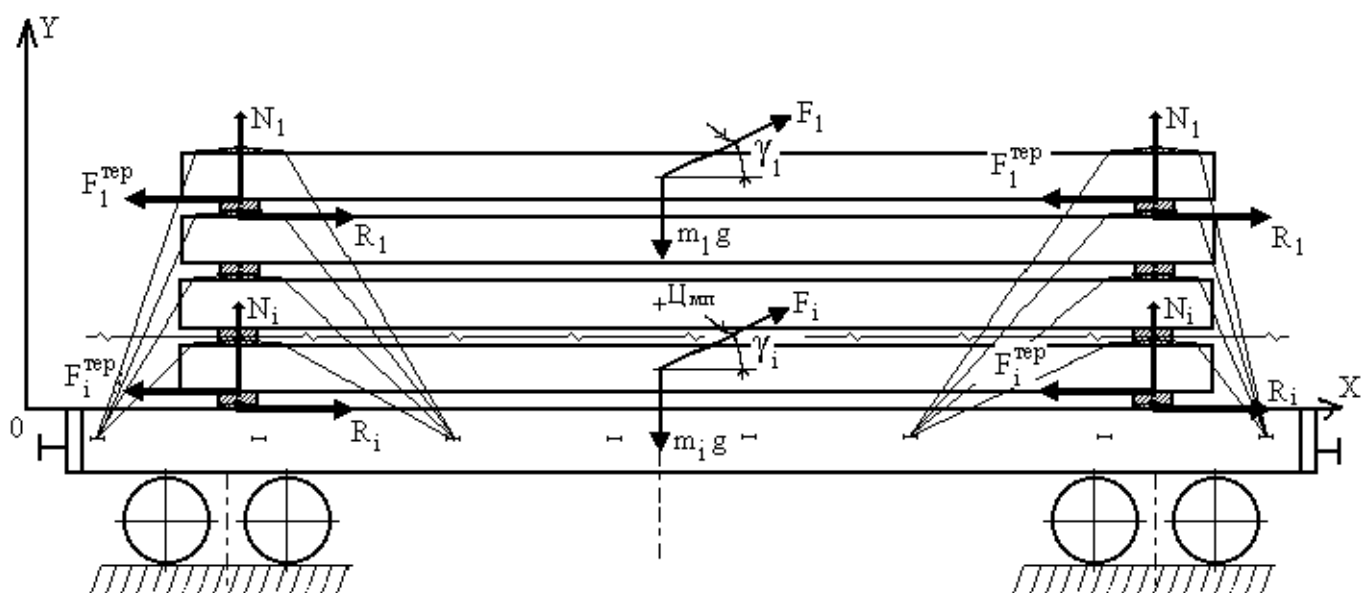


Рис. 2.7 – Сили, які діють на штабель вантажу при виконанні маневрових операцій

При русі поїзда з максимально допустимою на мережі залізниць України швидкістю та при проходженні поїздом кривих ділянок колії виникає друге розрахункове сполучення. Тут максимальну величину приймають

поперечна і вертикальна інерційні сили, вітрове навантаження та поперечна сила тертя (рис. 2.8).

У даному випадку розрахунок сил, що діють на штабель вантажу, за принципом Даламбера можна вести наступним чином:

– для першого ярусу

$$\begin{aligned} \Delta F_n^I = & m \left(\frac{\left(\frac{dx_n}{dt} \right)^2}{R} \right) \text{Cos}\varrho + pS_1 - mg \text{Sin}\varrho - \\ & - mg \mu \text{Cos}\varrho - m \left(\frac{\left(\frac{dx_n}{dt} \right)^2}{R} \right) \mu \text{Sin}\varrho; \end{aligned} \quad (2.70)$$

– для другого ярусу

$$\begin{aligned} \Delta F_n^{II} = & -mg \text{Sin}\varrho - 2 \left(mg \mu \text{Cos}\varrho + m \left(\frac{\left(\frac{dx_n}{dt} \right)^2}{R} \right) \mu \text{Sin}\varrho \right) + \\ & m \left(\frac{\left(\frac{dx_n}{dt} \right)^2}{R} \right) \text{Cos}\varrho + pS_2 + mg \mu \text{Cos}\varrho + \\ & + m \left(\frac{\left(\frac{dx_n}{dt} \right)^2}{R} \right) \mu \text{Sin}\varrho; \end{aligned} \quad (2.71)$$

– для і-ого ярусу

$$\begin{aligned}
 \Delta F_i^N = & m \left(\frac{\left(\frac{dx_n}{dt} \right)^2}{R} \right) \cos \varrho + p S_i - mg \sin \varrho - \\
 & - i \left(mg \mu \cos \varrho + m \left(\frac{\left(\frac{dx_n}{dt} \right)^2}{R} \right) \mu \sin \varrho \right) + \\
 & + (i-1) \left(mg \mu \cos \varrho + m \left(\frac{\left(\frac{dx_n}{dt} \right)^2}{R} \right) \mu \sin \varrho \right).
 \end{aligned}
 \tag{2.72}$$

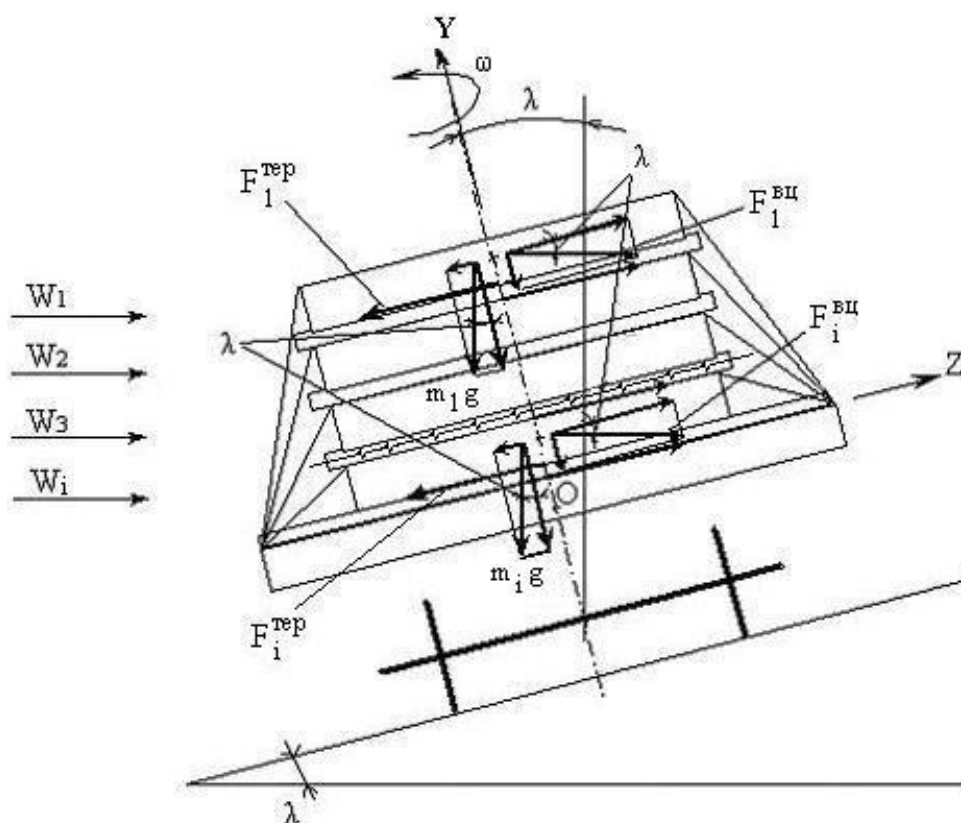


Рис. 2.8 – Схема сил, які діють на штабель вантажу в кривих і перехідних ділянках колії

$$\eta_{m o 3} = \left(\frac{l_{n o 3}^o}{h_{y 6} - h_y^{n o 3}} \right) \geq 1,25; \quad (2.78)$$

– поперек вагону

$$\eta_m = \frac{Q_{ван} b_n^o}{F(h_{y 6} - h_y^n) + W_n(h_{чн}^n - h_y^n)} \geq 1,25, \quad (2.79)$$

де $l_{n o 3}^o, b_n^o$ – найкоротша відстань від проекції центру маси вантажу на горизонтальну площину до ребра перекидання відповідно уздовж та поперек вагону, м;

$h_{y 6}$ – висота центру маси вантажу (ЦМВ) над підлогою вагона або площиною підкладок, м;

$h_y^{n o 3}, h_y^n$ – висота відповідно поздовжнього та поперечного упору від полу вагона або площини підкладок, м;

$h_{чн}^n$ – висота центру проекції бокової поверхні вантажу від полу вагона або площини підкладок, м.

Як показує практика, визначення стійкості вантажів за цими математичними виразами викликає значні нераціональні витрати дефіцитних матеріалів (дроту, деревини та ін.) на закріплення проти перекидання. Це суттєво збільшує транспортні витрати вантажовідправників та знижує конкурентноздатність залізниць порівняно з автомобільним транспортом, зменшує обсяги перевезень [37].

Тому стійкість вантажу у вагоні пропонується визначати через мінімальну швидкість співудару вагонів при маневровій роботі.

Для визначення мінімальної швидкості співудару, за якої вантаж перекидається, використаємо теорему про зміну кінетичної енергії, яка дорівнює різниці роботи сил, що прикладені до вантажу.

Згідно досліджень маневрової роботи, проведених в умовах станцій [33], незакріплений у вагоні вантаж при співударі спершу поступово рухається, а потім перекидається згідно до рис. 2.10.

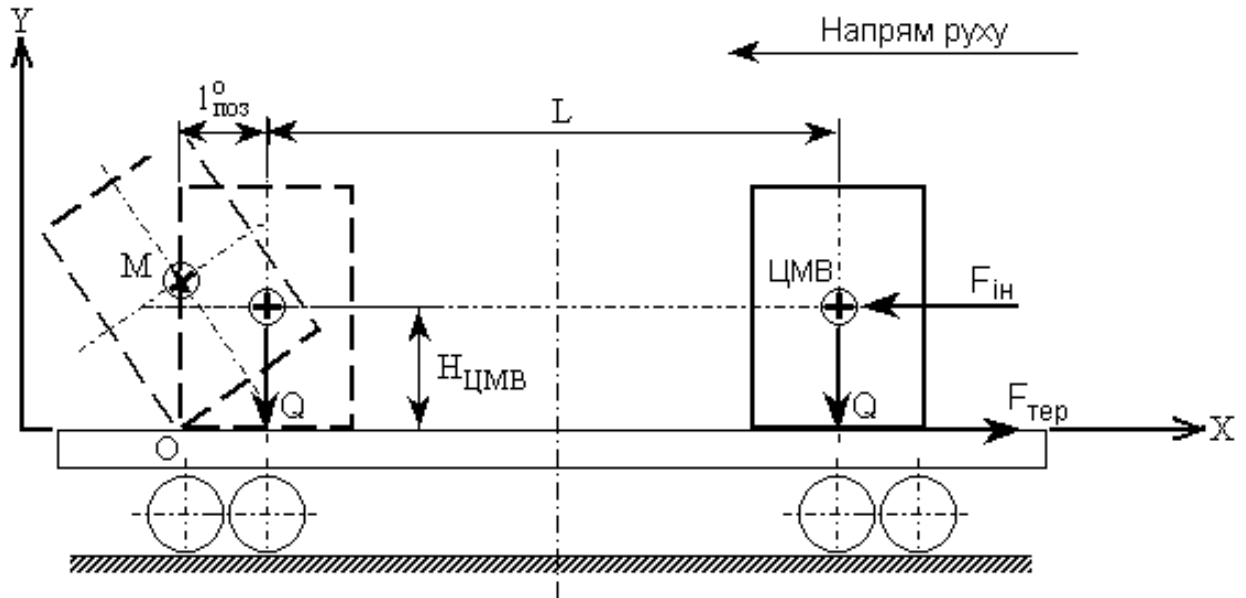


Рис. 2.10 – Рух та перекидання вантажу у вагоні при співударі вагонів

Теорема про зміну кінетичної енергії для рис. 2.10 запишеться у вигляді

$$\frac{mV_1^2 - mV_2^2}{2} = A_1 + A_2, \quad (2.80)$$

де A_1 – робота сил, що діють на вантаж при пересуванні ЦМВ на відстань Δ ; $A_1 = mg\mu\Delta$;

A_2 – робота сил при перекиданні вантажу згідно рис. 2.10 буде дорівнювати

$$A_2 = A'_1 + A'_2, \quad (2.81)$$

де A'_1 – робота по горизонтальному пересуванню ЦМВ на відстань l_{no}^o ;

A'_2 – робота по підніманню ЦМВ на висоту h .

З рисунку 2.10 отримуємо

$$A_1 = Q l_{no}^o = m g l_{no}^o; \quad (2.82)$$

$$A_2 = Q h = m g h; \quad (2.83)$$

$$h = r - H_{ЦМВ}; \quad (2.84)$$

$$r = \sqrt{(l_{no}^o)^2 + H_{ЦМВ}^2}; \quad (2.85)$$

$$V_2 = 0; \quad \frac{mV_1^2}{2} = m g \mu \Delta_1 + m g l_{no}^o + m g (r - H_{ЦМВ}). \quad (2.86)$$

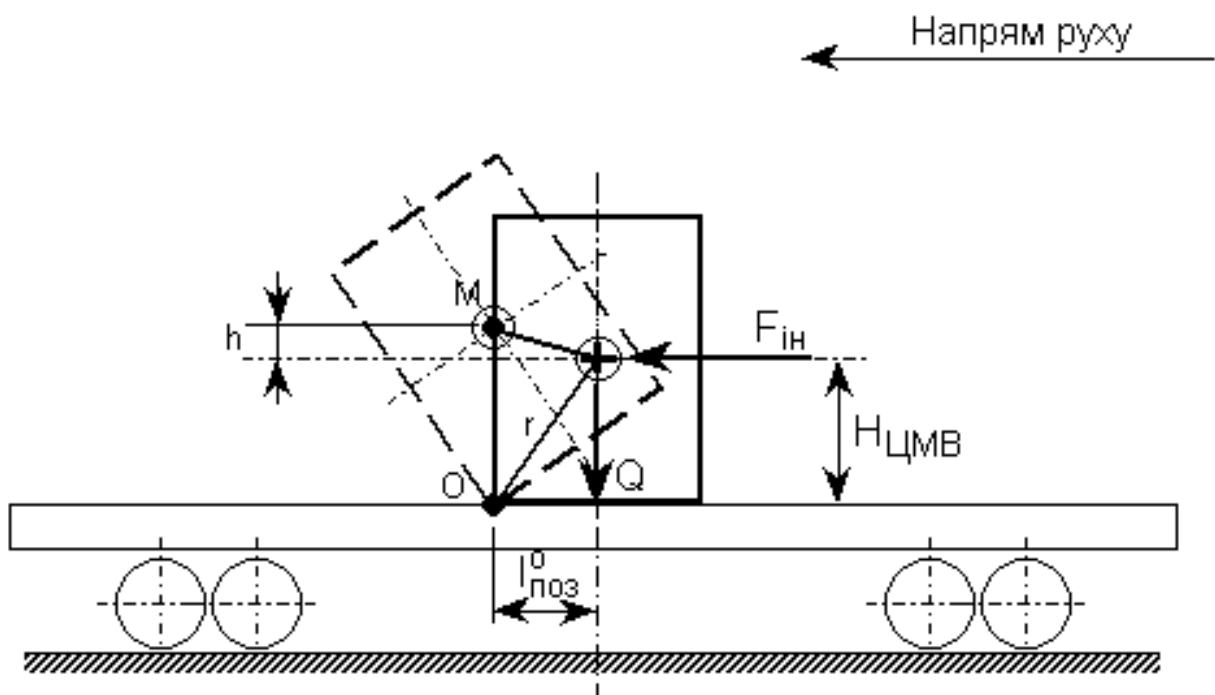


Рис. 2.11 – Перекидання вантажу в поздовжньому напрямку

При закріпленні вантажу від поздовжнього пересування упорними брусками рівняння прийме вираз:

$$\frac{mV_1^2}{2} = mgl_{noz}^o + mg(r - H_{ЦМВ}^o); \quad (2.87)$$

$$\frac{mV_1^2}{2} = mgl_{noz}^o + mg\left(\sqrt{(l_{noz}^o)^2 + H_{ЦМВ}^2} - H_{ЦМВ}^o\right); \quad (2.88)$$

$$V_1^2 = 2 \left[gl_{noz}^o + g\left(\sqrt{(l_{noz}^o)^2 + H_{ЦМВ}^2} - H_{ЦМВ}^o\right) \right]. \quad (2.89)$$

Таким чином, мінімальна швидкість співударів вагонів, при якій не забезпечується стійкість вантажу у вагоні, і вантаж перекидається

$$V_1 = \sqrt{2g \left[l_{noz}^o + \sqrt{(l_{noz}^o)^2 + H_{ЦМВ}^2} - H_{ЦМВ}^o \right]}. \quad (2.90)$$

Для прикладу визначимо мінімальну швидкість співудару вагонів, за якою здійснюється перекидання вантажу, що має $H_{ЦМВ} = l_{noz}^o = 1$ м, у вагоні

$$V_1 = \sqrt{2 \cdot 9,81(1 + \sqrt{1^2 + 1^2} - 1)} = \sqrt{1962,41} = 5,2 \text{ м/сек};$$

$$V_1 = \frac{5,263600}{1000} = 1,89 \text{ км/год},$$

а також необхідність закріплення вантажу від перекидання за традиційними виразами:

$$\eta_{noz} = \frac{1}{1-0} = 1 < 1,25.$$

Звідси бачимо, що вантаж необхідно закріпити від перекидання у поздовжньому напрямку при швидкості співударів вагонів 18,94 км/год. Так як максимальна швидкість розпуску вагонів з сортувальних гірок складає 5 км/год., то вантаж не потребує додаткового закріплення від перекидання в поздовжньому напрямку.

Таким саме чином можна визначити мінімальну швидкість, при якій відбудеться перекидання вантажу у поперечному напрямку.

Для цього рух ЦМВ при перекиданні вантажу представимо як рух по горизонталі на відстань a та по вертикалі на висоту h (рис. 2.12).

Для даного випадку теорема про зміну кінетичної енергії запишеться у вигляді (2.80)

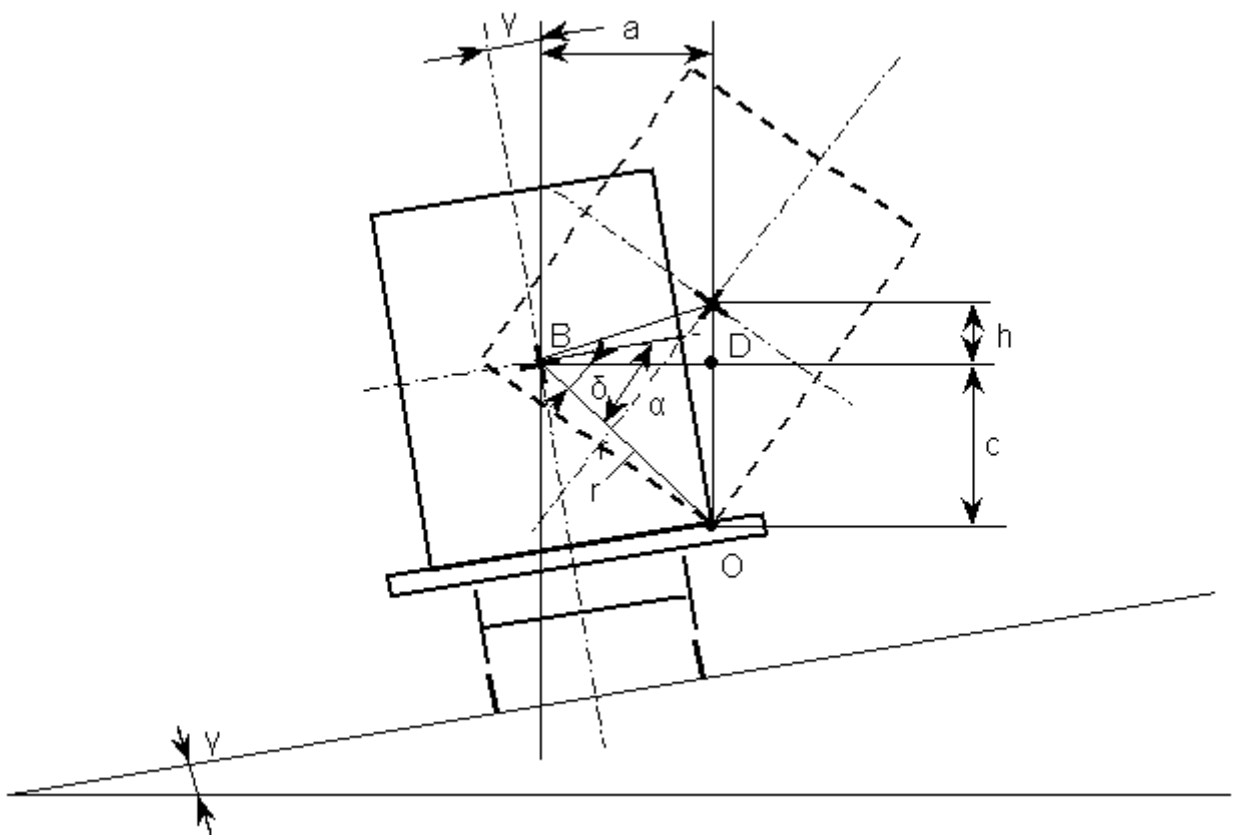


Рис. 2.12 – Перекидання вантажу у поперечному напрямку

Таким чином зміна кінетичної енергії запишеться у вигляді

$$\frac{mV_2^2}{2} = mga + mgh; \quad (2.91)$$

$$V_2 = \sqrt{2g(a+h)}. \quad (2.92)$$

Із трикутника OBD: $\angle\delta = \angle\alpha - \angle\gamma$;

$$a = r \cos(\alpha - \gamma); \quad (2.93)$$

$$h = r - c; \quad (2.94)$$

$$c = r \sin(\alpha - \gamma); \quad (2.95)$$

$$r = \sqrt{H_{ЦМВ}^2 + (b_n^o)^2}. \quad (2.96)$$

Підставляючи значення r отримаємо

$$a = \sqrt{H_{ЦМВ}^2 + (b_n^o)^2} \cos(\alpha - \gamma); \quad (2.97)$$

$$\begin{aligned} \alpha &= \arcsin\left(\frac{H_{ЦМВ}}{r}\right) = \\ &= \arcsin\left(\frac{H_{ЦМВ}}{\sqrt{H_{ЦМВ}^2 + (b_n^o)^2}}\right); \end{aligned} \quad (2.98)$$

$$h = \sqrt{H_{ЦМВ}^2 + (b_n^0)^2} [1 - \sin(\alpha - \gamma)]. \quad (2.99)$$

Таким чином, мінімальна швидкість руху вантажу у поперечному напрямку, при якій не забезпечується стійкість вантажу запишеться у виразі:

$$V = \sqrt{2g \left[\sqrt{H_{ЦМВ}^2 + (b_n^0)^2} \cos(\alpha - \gamma) + \sqrt{H_{ЦМВ}^2 + (b_n^0)^2} [1 - \sin(\alpha - \gamma)] \right]}. \quad (2.100)$$

Для вантажу розміщеного над шкворневою балкою, що має $H_{ЦМВ} = 1$ м; $b_n^0 = 0,5$ м та силу тяжіння 10 Н, згідно розрахунків, коефіцієнт запасу стійкості у поперечному напрямку складає $\eta = 0,9$, що менше 1,25. Таким чином необхідно додаткове закріплення вантажу. Мінімальна швидкість, за якої можливе перекидання, складе

$$V = \sqrt{2 \cdot 9,81 \left[\sqrt{1^2 + 0,5^2} \cdot \cos(63) + \sqrt{1^2 + 0,5^2} \cdot [1 - \sin(63)] \right]} = 3,52 \text{ м/с} \approx 13 \text{ км/го},$$

Можлива швидкість руху вантажу по підлозі кузова вагона (платформи) у поперечному напрямку визначається із рівняння відносного руху згідно рис. 2.13.

$$m \frac{dZ}{dt} = \frac{1}{R} m V_n^2 \cos \varphi - mg \sin \varphi - \left(mg \cos \varphi + \frac{m V_n^2}{R} \sin \varphi \right) \mu, \quad (2.101)$$

де V – швидкість руху вантажного поїзда, м/с;

R – радіус кривої, м;

μ – коефіцієнт тертя вантажу по поверхні підкладок або підлозі кузова вагона (платформи).

Прискорення відносного руху у напрямку вісі Z

$$\frac{dZ}{dt} = \frac{1}{R} V_n^2 \cos\varphi - g \sin\gamma - \left(g \cos\varphi + \frac{1}{R} V_n^2 \sin\gamma \right) \mu. \quad (2.102)$$

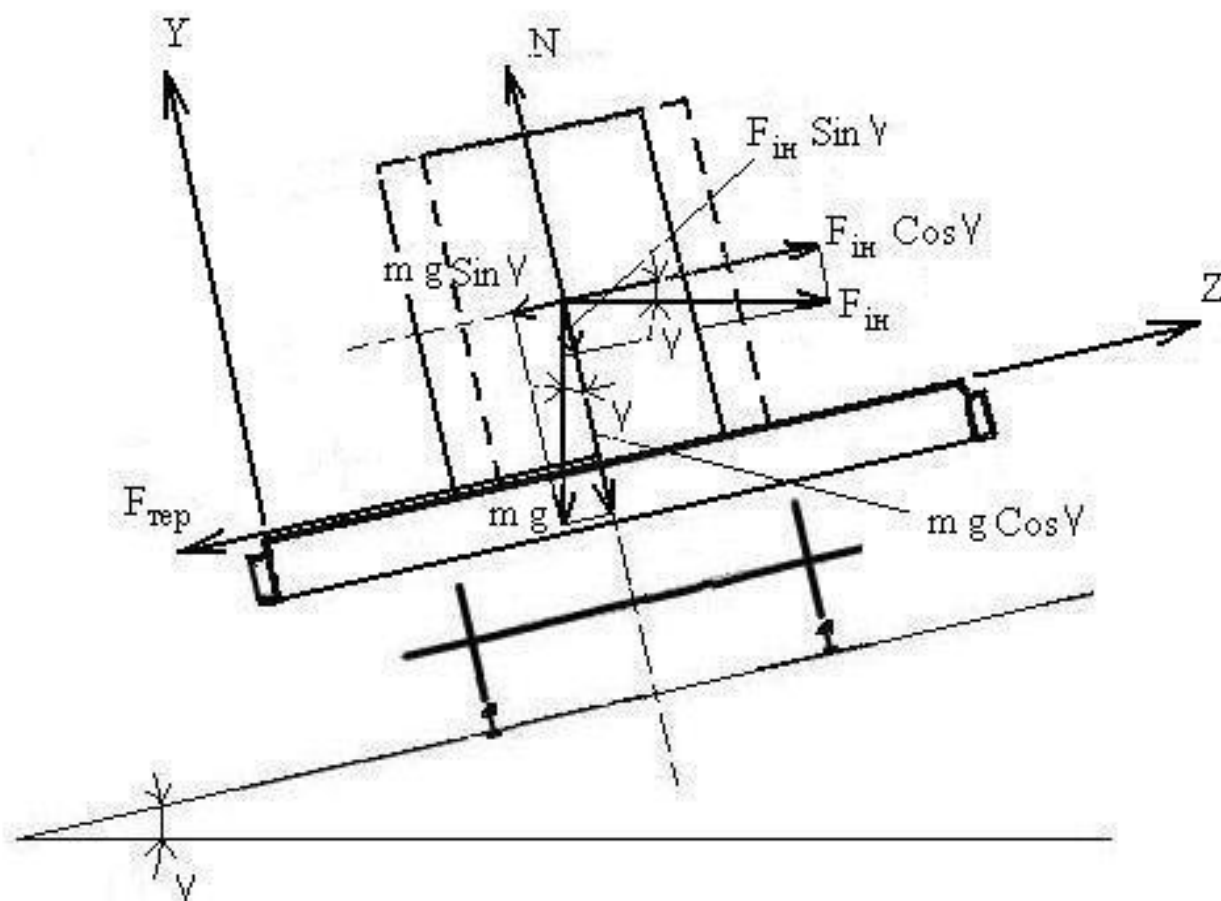


Рис. 2.13 – Відносний рух вантажу у поперечному напрямку

Швидкість відносного руху у напрямку вісі Z

$$\frac{dZ}{dt} = \left[\frac{1}{R} V_n^2 \cos\varphi - g \sin\gamma - \left(g \cos\varphi + \frac{1}{R} V_n^2 \sin\gamma \right) \mu \right] t. \quad (2.103)$$

Швидкість руху, що розрахована за останнім виразом, знаходиться у безпечних межах, таким чином стійкість вантажу забезпечується без додаткового кріплення.

2.9 Розробка алгоритму та програмного забезпечення по визначенню способу навантаження та кріплення вантажів на відкритому рухомому складі

Для вибору та розрахунку оптимального варіанту розміщення та кріплення вантажів на відкритому рухомому складі був розроблений докладний алгоритм (додаток А), який дозволяє прорахувати усі можливі варіанти розміщення та закріплення вантажу. В основу алгоритму покладена методика, розроблена у другому розділі.

У блоках 2 – 4, 19, 36 здійснюється введення вихідних даних, до яких належать:

1) вибір типу рухомого складу та визначення його основних характеристик (довжина бази вагона, висота бортів піввагона, вантажопідйомність, висота полу вагона від рівня головки рейки та інші) (рис. 3.1) [16];

2) довжина, ширина та висота однієї плити (одного ярусу) (рис. 3.2) [80];

3) маса однієї плити (ярусу) [80];

4) основні характеристики реквізитів кріплення вантажу, які є необхідними для подальших розрахунків:

- висота підкладки;
- маса однієї підкладки;
- коефіцієнт тертя плити по матеріалу, з якого зроблена підкладка (частіш за все – дерево) [42];

- щільність одного кг дроту, який використовується для розтяжок;

- діаметр дроту;

- межа текучості дроту, з якого зроблені розтяжки;

Техническая Характеристика ПС

Характеристика подвижного состава

Название: Платформа

Модель: 4-осная платформа с металлическими бортами, модель 13-401

Грузоподъемность	Тара	Объем Кузова	Статическая Нагрузка	
70	20,9	0	0	
Высота Кузова Внутри	Длина Кузова Внутри	Ширина Кузова Внутри	Высота От УГР	Ширина Дверного Проема
0	0	0	1302	0
Длина Дверного Проема	Длина Разгрузочного Люка	Ширина Разгрузочного Люка	Количество Разгрузочных	
0	0	0	0	
Высота Бокового Борта	Высота Торцового Борта	Ширина Пола Без Откр Бортов	Ширина Пола С Откр Бортами	
500	400	2770	2870	
Длина Пола Без Откр Бортов		Длина Пола С Откр Бортами	База Вагона	
13300		13380	9720	
Высота ЦМ	КэфР	КэфQ		
0,8	3,34	0,1		

Запись: 19 из 27

Рис. 2.14 – Форма для выбору рухомого складу

5) кути нахилу розтяжок до підлоги вагону, кути між проекціями розтяжок на горизонтальну площину та поздовжньою віссю вагона та між проекцією розтяжки на горизонтальну площину, кути між проекціями розтяжок на горизонтальну площину та поперечною віссю вагона. Вибір означених кутів здійснюється для кожного ярусу окремо, за допомогою програми, яка була розроблена кафедрою “Станції і вузли, вантажна та комерційна робота” Харківської державної академії залізничного транспорту [68];

6) максимально допустима швидкість руху поїзда в кривих та перехідних ділянках колії;

7) значення радіусів кривих та кутів узвишся однієї рейки колії над іншою.

У блоках 5 –11 здійснюється перевірка висоти навантаження вантажу у вагоні по габариту навантаження [88]. А у блоках 12 – 16, 82, 84 та 85 – перевірка по загальній масі вантажу з реквізитами кріплення у вагоні – таким

чином, щоб не перевищувалась вантажопідйомність вагона. Як в першому, так і в другому випадках, якщо якась вимога не виконується, то кількість ярусів зменшується на 1 і перевірка здійснюється знову.

Форма1 : форма

Исходные данные:

Характеристики груза:

Габаритные размеры: Высота Ширина Длина

Масса единицы груза Кол-во единиц груза

Расст. от вертикальной площади до ЦМ груза

Материал опорных поверхностей Коэффициент трения

Запись: из 1

Рис. 2.15 – Форма для введення характеристик вантажу

Розрахунок сил, які необхідно згасити реквізитами кріплення, здійснюється у блоках 20 – 40. В блоках з 20 по 34 – для першого розрахункового сполучення. Тут також враховано і те, що існують два режими руху вантажу по підлозі вагону: при швидкості співудару вагонів до 4,32 км/год (блоки 21 – 27), та другий – при швидкості співудару вагоні, більшій ніж 4,32 км/год (блоки 28 – 33). В блоках 36 – 40 здійснюється розрахунок сил, які необхідно згасити кріпленням при другому розрахунковому сполученні, при проходженні вагонами кривих та перехідних дільниць колії з максимально допустимою швидкістю.

Далі, в блоках 41 – 62 здійснюється перевірка кількості розтяжок у поздовжньому напрямку. В даному випадку також враховані два види переміщення вантажу по підлозі вагона. В блоках 63 – 76 – здійснюється розрахунок розтяжок, що закріплюють кожний ярус у поперечному напрямку.

На останньому етапі, у блоках 77 – 83 здійснюється перевірка обраної кількості розтяжок на допустиме напруження у кожній з них.

У блоці 86 здійснюється вивід усіх основних характеристик обраного варіанту закріплення вантажу на відкритому рухомому складі.

На підставі алгоритму, який наведений у додатку А, за допомогою стандартних засобів пакету прикладних програм Microsoft Office'97 та Visual Basic For Applications було розроблене програмне забезпечення по визначенню оптимального способу навантаження та кріплення вантажів на відкритому рухомому складі [1, 67].

2.10 Імітаційне моделювання руху штабельних вантажів

По алгоритму програми (п. 2.9) було проведено та проаналізовано імітаційне моделювання поведінки штабелю вантажу, навантаженого на платформу, при виконанні маневрових операцій та при проходженні вагоном кривих та перехідних ділянках колії з максимально допустимою швидкістю (100 км/год). Основні результати моделювання наведені нижче.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані до моделювання, коли всі яруси у штабелі незакріплені

№ ярусу	кут α , град.	кут $\beta_{\text{поз}}$, град.	Кількість розтяжок	Кількість ниток у розтяжці	Діаметр дроту, м	Маса ярусу, кг
1	2	3	4	5	6	7
1	18	45	0	0	0,006	6000
2	25	45	0	0	0,006	6000
3	32	45	0	0	0,006	6000
4	39	45	0	0	0,006	6000
5	48	45	0	0	0,006	6000
6	53	45	0	0	0,006	6000

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6	7
7	60	45	0	0	0,006	6000
8	67	45	0	0	0,006	6000

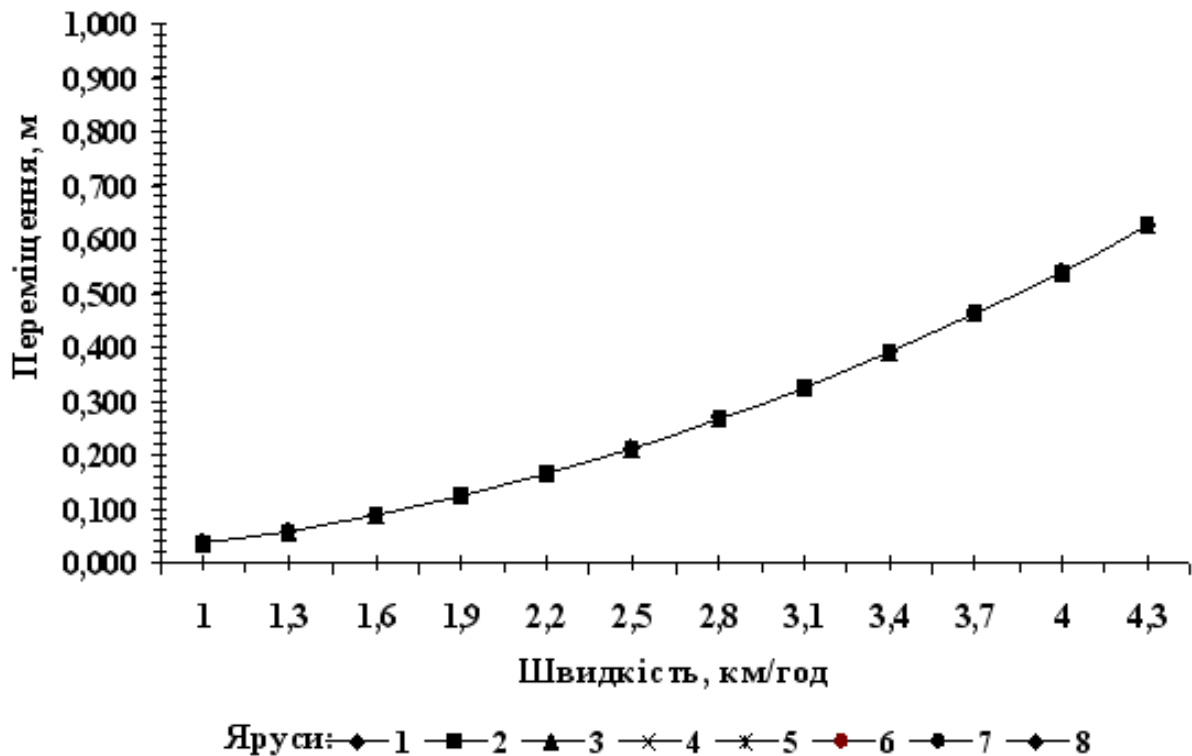


Рисунок 2.16 – Результати моделювання переміщення незакріпленого штабелю вантажу

При розміщенні на платформі залізобетонних виробів за умовами, наведеними у табл. 2.1, коли всі яруси незакріплені, вони пересуваються, як одиночний вантаж (рис. 2.16). Коли швидкість співудару вагонів досягає 4 км/год переміщення всього штабелю складе 0,7 м, що загрожує пошкодженню вантажу і безпеці руху, тобто штабель вантажу потребує закріплення від переміщення у поздовжньому напрямку.

При закріпленні першого ярусу двома розтяжками в чотири нитки кожна, його переміщення зменшиться і складе 0,15 м (рис. 2.17).

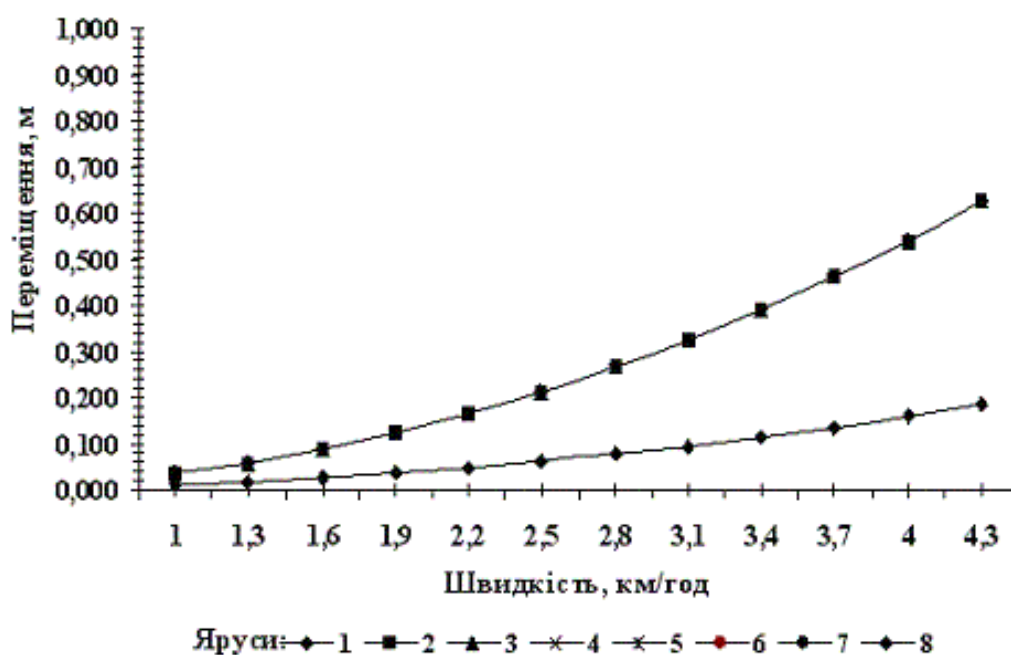


Рисунок 2.17 – Результати моделювання переміщення штабелю вантажу, коли закріплений перший (верхній) ярус

З рис. 2.17 видно, що яруси 2 – 8 пересуваються як незакріплені, одним штабелем. Їх переміщення досягає, як і в першому випадку, при швидкості 4 км/год 0,7 м, і знову загрожує безпеці руху та схоронності вантажу.

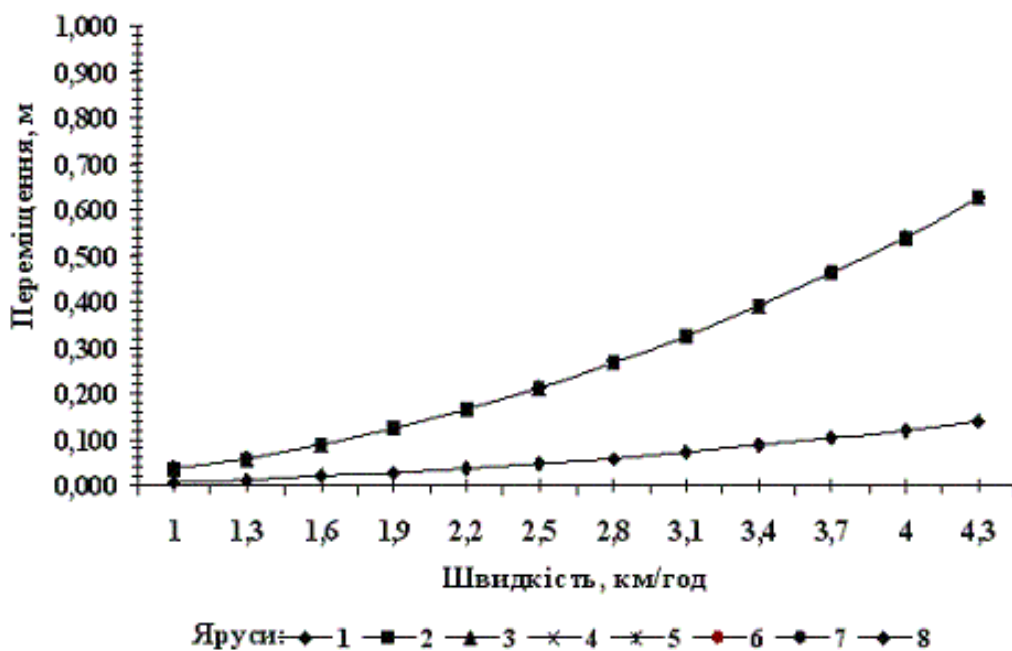


Рис. 2.18 – Результати моделювання, коли верхній ярус закріплений двома розтяжками в 6 ниток

При подальшому посиленні кріплення першого (верхнього) ярусу, його переміщення ще зменшується і складає при швидкості співудару вагонів 4 км/год приблизно 112 мм та гарантує його схоронність.

Виходячи з результатів моделювання (рис. 2.18), видно, що для забезпечення схоронності вантажу, який перевозиться, достатньо 2 розтяжок в 6 ниток, а згідно Технічних умов [88], для закріплення даного виду вантажу необхідно 2 розтяжки в 8 ниток, що є завищеним. Також видно, що закріплення одного з ярусів не впливає на переміщення інших ярусів в штабелі, тобто закріплення потребує кожний ярус незалежно від інших.

Таблиця 2.2 – Вихідні дані до моделювання, коли всі яруси у штабелі закріплені двома розтяжками по шість ниток дроту в кожній

№ ярусу	кут α , град.	кут $\beta_{\text{поз}}$, град.	Кількість розтяжок	Кількість ниток у розтяжці	Діаметр дроту, м	Маса ярусу, кг
1	2	3	4	5	6	7
1	18	45	2	6	0,006	6000
2	25	45	2	6	0,006	6000
3	32	45	2	6	0,006	6000
4	39	45	2	6	0,006	6000
5	48	45	2	6	0,006	6000
6	53	45	2	6	0,006	6000
7	60	45	2	6	0,006	6000
8	67	45	2	6	0,006	6000

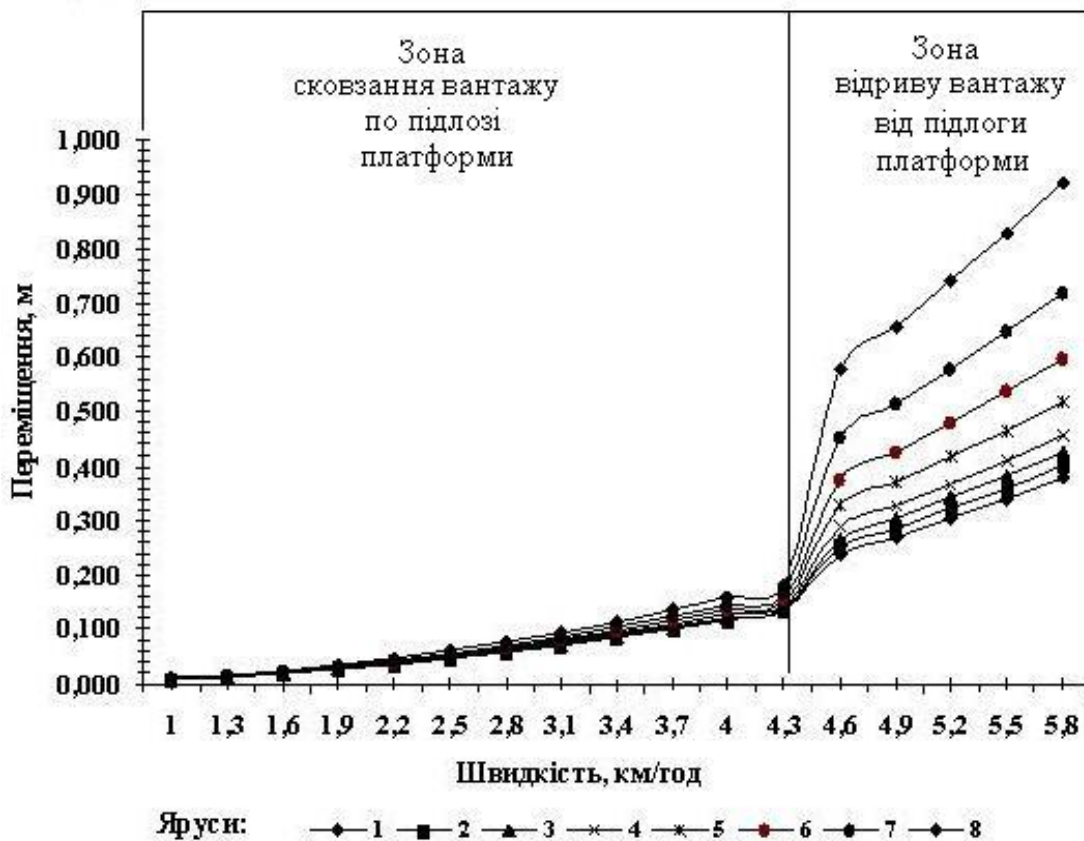


Рис. 2.19 – Результати моделювання переміщення ярусів закріпленого штабелю вантажу при виконанні маневрових операцій

Як видно з рис. 2.19, усі яруси в закріпленому штабелі вантажу переміщуються незалежно один від одного. Також звідси можна встановити швидкість при якій відбудеться відрив вантажу від підлоги платформи. Тобто, до швидкості співудару вагонів до 4,32 км/год переміщення кожного ярусу у штабелі буде у допустимих нормах (приблизно 0,1 м). При швидкості співудару 4,32 км/год відбувається відрив вантажу від підлоги платформи і його переміщення зростає приблизно у два рази (перший ярус).

Звідси можна зробити висновок, що при швидкості співудару вагонів, більшій ніж 4,32 км/год буде потрібно додаткове закріплення штабелю вантажу від переміщення у поздовжньому напрямку.

Для перевірки достовірності співставлення результатів, отриманих на фізичній моделі чотиривісної платформи з результатами, отриманими під

час імітаційного моделювання на ПЕОМ, було проведено дослідження, за вихідними даними, що відповідають даним макету (табл. 2.3). Досліджувалось переміщення закріпленого і незакріпленого штабелю вантажу, який складається з 4 залізобетонних плит масою 6 кг кожна.

Таблиця 2.3 – Вихідні дані до моделювання незакріпленого штабелю вантажу, основні характеристики якого відповідають механічній моделі

№ ярусу	кут α , град.	кут $\beta_{\text{поз}}$, град.	Кількість розтяжок	Кількість ниток у розтяжці	Діаметр дроту, м	Маса ярусу, кг
1	2	3	4	5	6	7
1	18	45	0	0	0,0006	6
2	25	45	0	0	0,0006	6
3	32	45	0	0	0,0006	6
4	39	45	0	0	0,0006	6

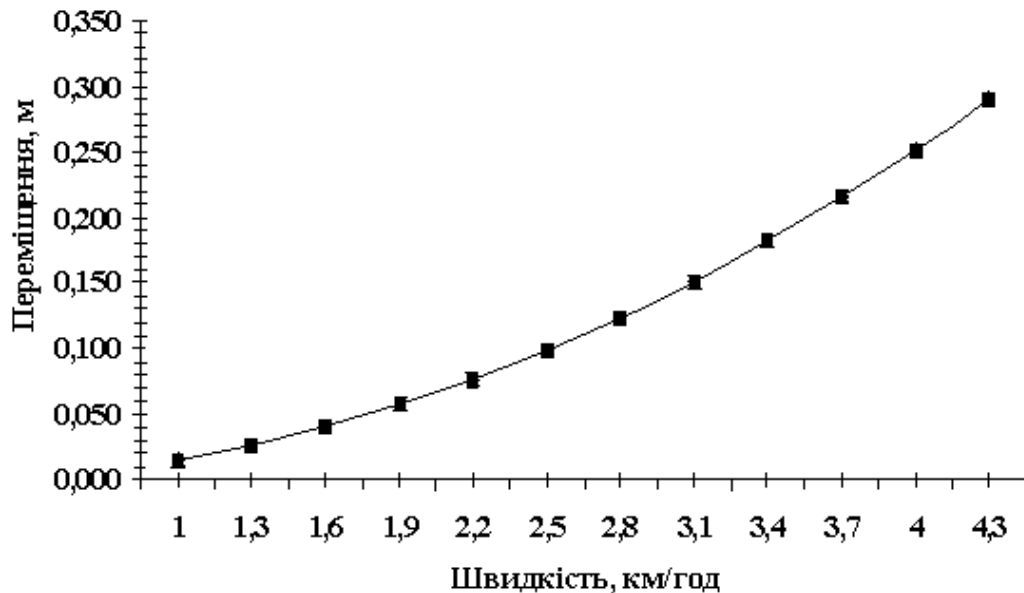


Рис. 2.20 – Результати моделювання переміщення незакріпленого штабелю вантажу у поздовжньому напрямку

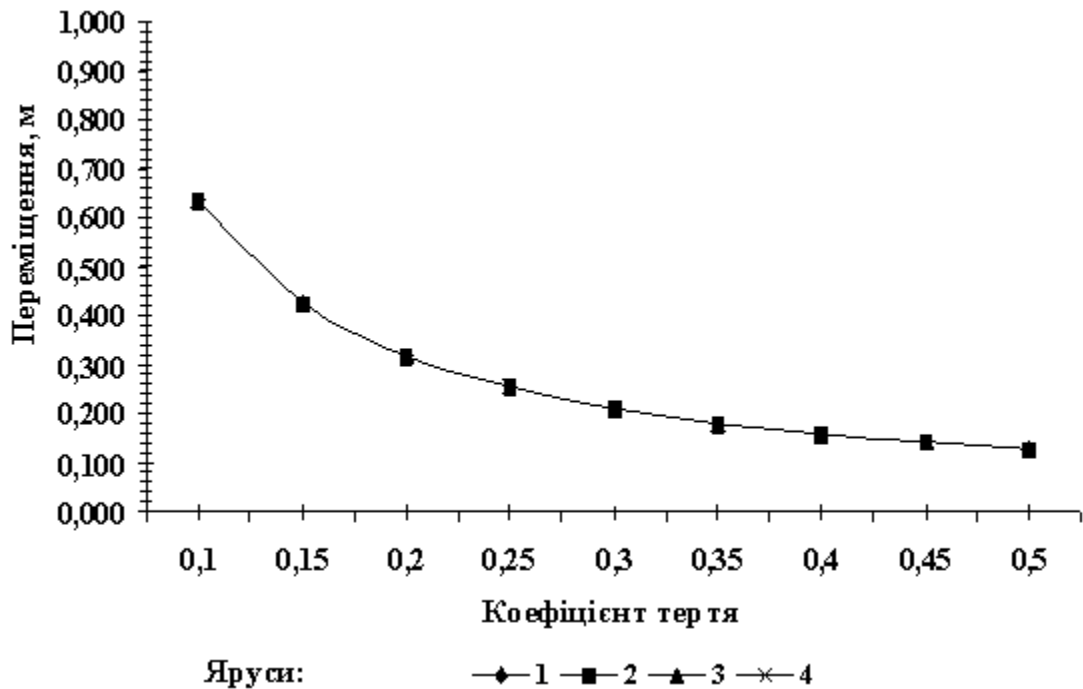


Рисунок 2.21 – Результати моделювання переміщення незакріпленого штабелю вантажу у поперечному напрямку

З рис. 2.20 та 2.21 бачимо, що як і у випадку з моделюванням по даним, які відповідають реальним об'єктам, всі яруси у незакріпленому штабелі вантажу в поздовжньому і поперечному напрямках переміщуються, як одиничний вантаж.

При закріпленні одного з ярусів (першого) двома розтяжками по чотири нитки у кожній у поздовжньому напрямку (рис. 2.22) знижує його переміщення при швидкості співудару вагонів, рівній 4 км/год до 0,02 м та практично виключає його переміщення у поперечному напрямку (рис. 2.23).

Тобто для забезпечення безпеки руху та схоронності вантажу, основні характеристики якого відповідають даним таблиці 2.3 достатньо закріпити перший ярус двома розтяжками в чотири нитки дротом, діаметр якого дорівнює 0,0006 м. Але закріплення одного ярусу як у поперечному, так і в поздовжньому напрямках, не впливає на переміщення інших ярусів.

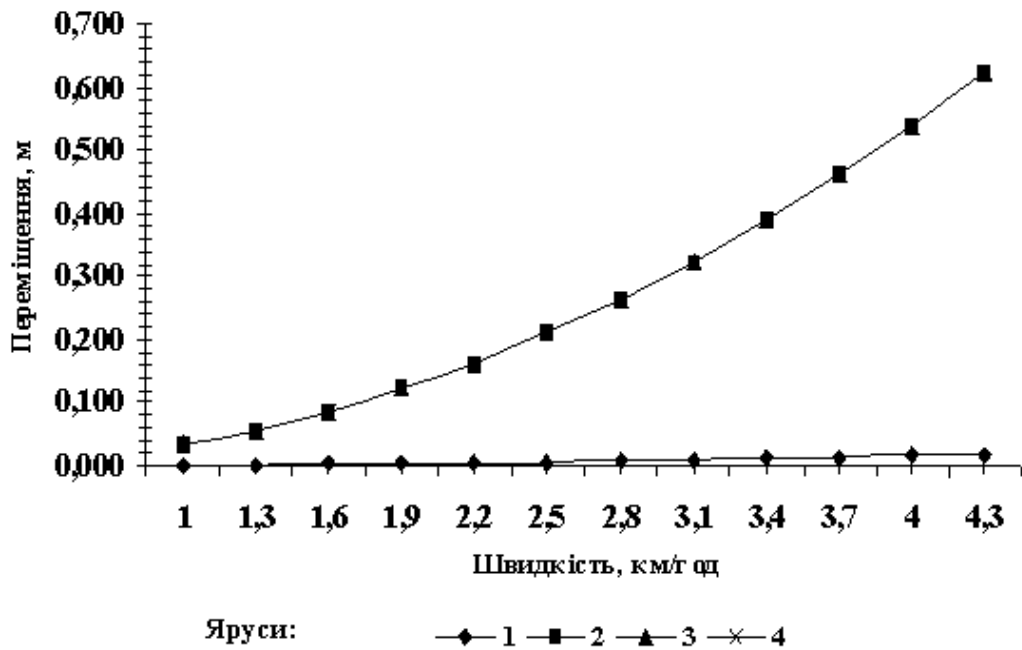


Рис. 2.22 – Результати моделювання переміщення штабелю вантажу у поздовжньому напрямку, коли закріплений перший ярус

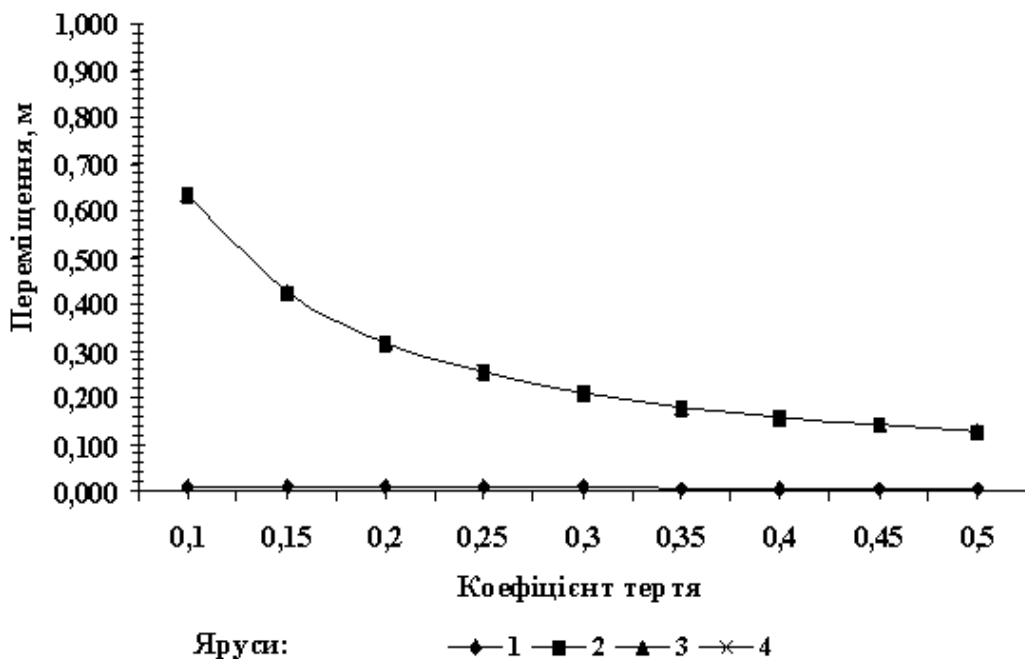


Рис. 2.23 – Результати моделювання переміщення штабелю вантажу у поперечному напрямку, коли закріплений перший ярус

Таблиця 2.4 – Вихідні дані до моделювання закріпленого штабелю вантажу, основні характеристики якого відповідають механічній моделі

№ ярусу	кут α , град.	кут $\beta_{\text{поз}}$, град.	Кількість розтяжок	Кількість ниток у розтяжці	Діаметр дроту, м	Маса ярусу, кг
1	2	3	4	5	6	7
1	18	45	2	4	0,0006	6
2	25	45	2	4	0,0006	6
3	32	45	2	4	0,0006	6
4	39	45	2	4	0,0006	6

При закріпленні кожного ярусу у штабелі вантажу за даними, наведеними у табл. 2.4 переміщення кожного ярусу у поздовжньому напрямку скорочується до 0,02 м при швидкості співудару вагонів 4 км/год, що забезпечує схоронність усього штабелю вантажу (рис. 2.24).

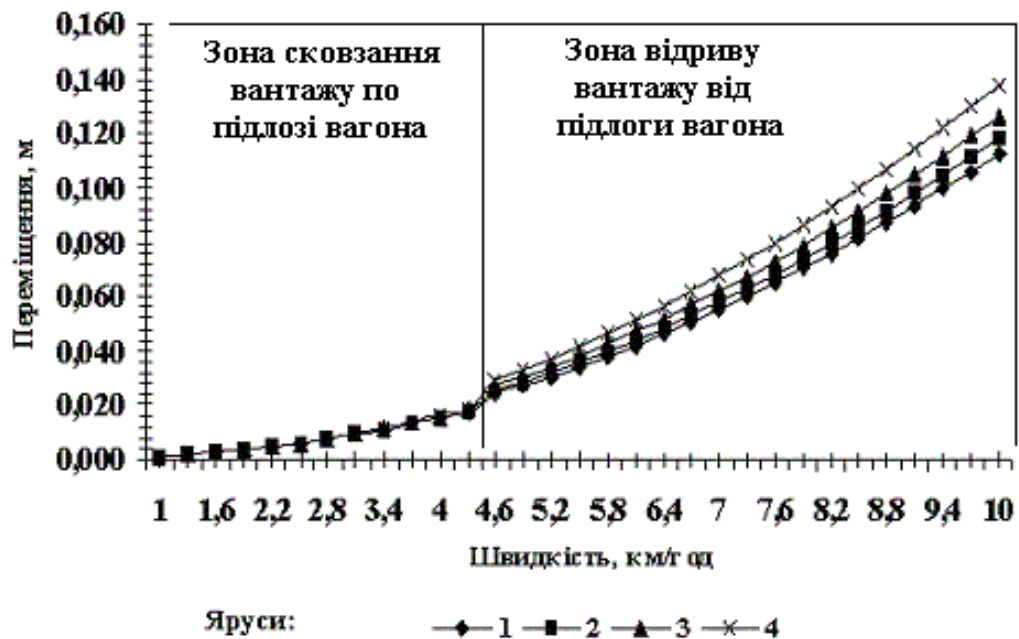


Рис. 2.24 – Результати моделювання переміщення закріпленого штабелю вантажу у поздовжньому напрямку

Як і в випадку, із вихідними даними по реальним об'єктам, у даному випадку відбувається відрив вантажу від підлоги вагону при швидкості співудару 4,32 км/год і значно збільшується переміщення вантажу у поздовжньому напрямку.

Звідси можна зробити висновок, що на швидкість, при якій відбувається відрив штабелю вантажу від підлоги вагона, не впливає маса вантажу у штабелі.

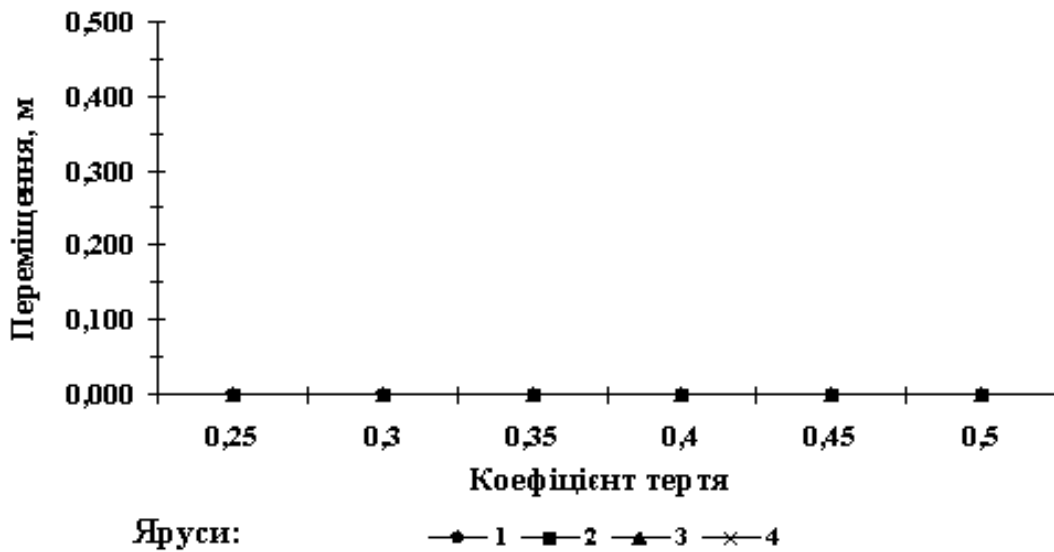


Рис. 2.25 – Результати моделювання переміщення закріпленої штабелю вантажу у поперечному напрямку

У поперечному напрямку закріплення кожного ярусу у штабелі двома розтяжками по чотири нитки у кожній (табл. 2.4) повністю виключає переміщення штабелю (рис. 2.25).

Висновки

На підставі досліджень, які були проведені у розділі 2, можна зробити наступні висновки:

1 Розроблені критерії надійності матеріалів і деталей кріплення вантажу: відношення часу на усунення відмов деталей кріплення на шляху доставки і часу на технічний комерційний огляд вагонів; відношення маси матеріалів, необхідних на усунення відмовлень деталей кріплення до загальних витрат матеріалів на деталі кріплення вантажу на місці навантаження; відношення, що характеризує частку вагонів з комерційними пошкодженнями; використання вантажопідйомності вагона; витрати матеріалів на деталі кріплення на одну тонну маси вантажу та на один ткм перевезення; співвідношення вартості закріплення вантажу і вартості вантажу; критерій несхоронності вантажів під час перевезення; критерій втрати вантажів на один ткм перевезення. Критерії направлені на підвищення рівня схоронності вантажів та зниження витрати матеріалів, що використовуються для закріплення вантажів на відкритому рухомому складі.

2 Наведені основні причини та дана характеристика поступових відмовлень, які є наслідком зносу в основному багатообігових засобів кріплення, опорно-кріпильних пристроїв, витягування розтяжок і залежать від відстані перевезення вантажу та умов експлуатації кріплення. Також наведена характеристика раптових відмовлень матеріалів і деталей навантаження та кріплення вантажів, які не залежать від тривалості експлуатації вагона з закріпленим чи просто завантаженим у нього вантажем і виникають внаслідок випадкових зовнішніх впливів, що перевищують розрахункові можливості кріплення вантажу або вагона.

3 Наведено визначення основних складових частин надійності деталей і матеріалів кріплення вантажів у вагонах. Побудована структурна схема до визначення надійності деталей кріплення вантажу у вагоні.

4 Запропоновано при розробці технічних умов на важкий період використовувати метод “максимального навантаження”, який полягає в тому, що технічні умови навантаження і кріплення вантажів повинні виконувати свої функції в межах строку доставки, або ж строку експлуатації багатообігових засобів, якщо зовнішні навантаження мають максимальні значення, а умови перевезень найбільш відрізняються від нормативних.

5 Запропоновано виконувати розрахунок дротових розтяжок на обмежену довговічність за межею текучості з урахуванням відносного подовження.

6 Запропоновано розподілення навантаження між дротовими розтяжками та упорними брусками виконувати за законом Гука.

7 Наведено вираз для визначення найменшої довжини дротової розтяжки, що забезпечує безпеку руху.

8 Використовуючи принцип Даламбера, удосконалено методи розрахунку сил, що діють на штабельні вантажі в поздовжньому та поперечному напрямках.

9 Використовуючи теорему про зміну кінетичної енергії в кінцевій формі, виведені математичні залежності для визначення швидкості співударів вагонів та забезпечення стійкості вантажу у вагоні від перекидання.

10 Розроблені, з використанням принципу Даламбера, математичні моделі руху одиночних і штабельних вантажів (закріплених і не закріплених) при маневровій роботі та при русі поїзда з максимально допустимою швидкістю в кривих та перехідних ділянках колії.

11 В результаті моделювання на ПЕОМ встановлено, що:

- незакріплений штабель вантажу пересувається, як одиночний вантаж;
- у поздовжньому напрямку існує два режими руху штабелю вантажу: перший – коли швидкість співудару вагонів не перевищує 4,32 км/год і вантаж переміщується по підлозі вагона (сила нормального тиску дорівнює силі тяжіння), та другий – коли швидкість співудару більша, ніж

4,32 км/год – відбувається відрив вантажу від підлоги вагона і сила нормального тиску дорівнює 0;

- при закріпленні вантажу, величина пересування залежить від діаметру дроту, кількості ниток у одній розтяжці та кількості розтяжок;
- закріплення одного із ярусів не впливає на пересування інших ярусів штабеля;
- для забезпечення схоронності вантажу, а також безпеки руху необхідно закріплювати всі яруси в штабелі;
- існування режиму руху вантажу, при якому сила тертя відсутня, вимагає переглянути методичку розрахунку деталей кріплення вантажів у поздовжньому напрямку.

14 На підставі алгоритму, за допомогою стандартних засобів пакету прикладних програм Microsoft Office'97 та Visual Basic For Applications було розроблено АРМ спеціаліста з проектування технічних умов навантаження та кріплення вантажів.

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ НАВАНТАЖЕННЯ ШТАБЕЛЬНИХ ВАНТАЖІВ НА ВІДКРИТОМУ РУХОМОМУ СКЛАДІ

3.1 Розробка методики експериментальних досліджень

При визначенні способів розміщення і кріплення штабельних вантажів на відкритому рухомому складі згідно з “Техническими условиями погрузки и крепления грузов” [88] повинні враховуватися наступні навантаження:

- поздовжні горизонтальні інерційні сили, що виникають при маневровій роботі та внаслідок співударів вагонів при розпуску їх з сортувальних гірок;
- поперечні горизонтальні інерційні сили, які виникають при пересуванні вагона у кривих і перехідних дільницях колії;
- вертикальні сили, що виникають при коливаннях вагона, який рухається;
- вітрові навантаження;
- сили тертя вантажу по підлозі вагона або підкладкам;
- маса вантажу.

З абсолютної величини найбільш значними і впливовими є поздовжні горизонтальні сили. Ці сили викликають значні пересування вантажу (як незакріпленого так і закріпленого), а також його перекидання і пошкодження як вантажу так і рухомого складу.

Традиційно провідне місце в дослідженнях з питань розробки технічних умов на навантаження та кріплення вантажів належить Російському науково-дослідному інституту залізничного транспорту, який має значну науково-технічну базу на експериментальному полігоні на ст. Щербинка для

виконання досліджень в галузі підвищення надійності кріплення вантажів та забезпечення їх схоронності [113]. Значні обсяги досліджень з питань кріплення вантажів виконуються Новосибірським інститутом залізничного транспорту [108]. Але ж проведення експериментальних досліджень в сучасних умовах тільки на вантажних і сортувальних станціях економічно не доцільно.

Тому виконання досліджень запропоновано запровадити на механічній моделі залізничної чотиривісної платформи на підшипниках кочення в масштабі 1:10 (рис. 3.1 та 3.2), а також в реальних умовах на станціях.

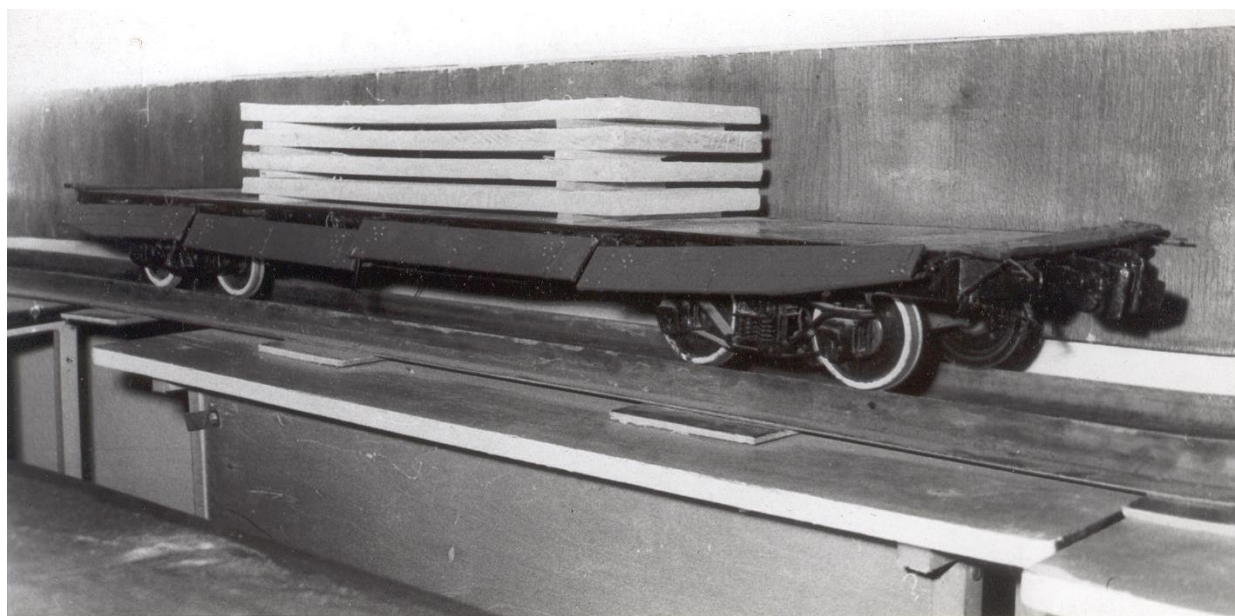


Рисунок 3.1 – Механічна модель залізничної чотиривісної платформи з незакріпленим вантажем

Схема проведення експериментальних досліджень по стикуванню вагонів наведена на рис. 3.3.

Питання, які досліджувались під час експерименту наступні:

– вплив швидкості співударів вагонів на пересування незакріплених і закріплених вантажів;

- вплив швидкості співударів вагонів на перекидання вантажів та встановлення безпечного рівня коефіцієнта запасу стійкості вантажів η ;
- вплив швидкості руху на пересування та переміщення вантажів в перехідних і кривих ділянках колії.

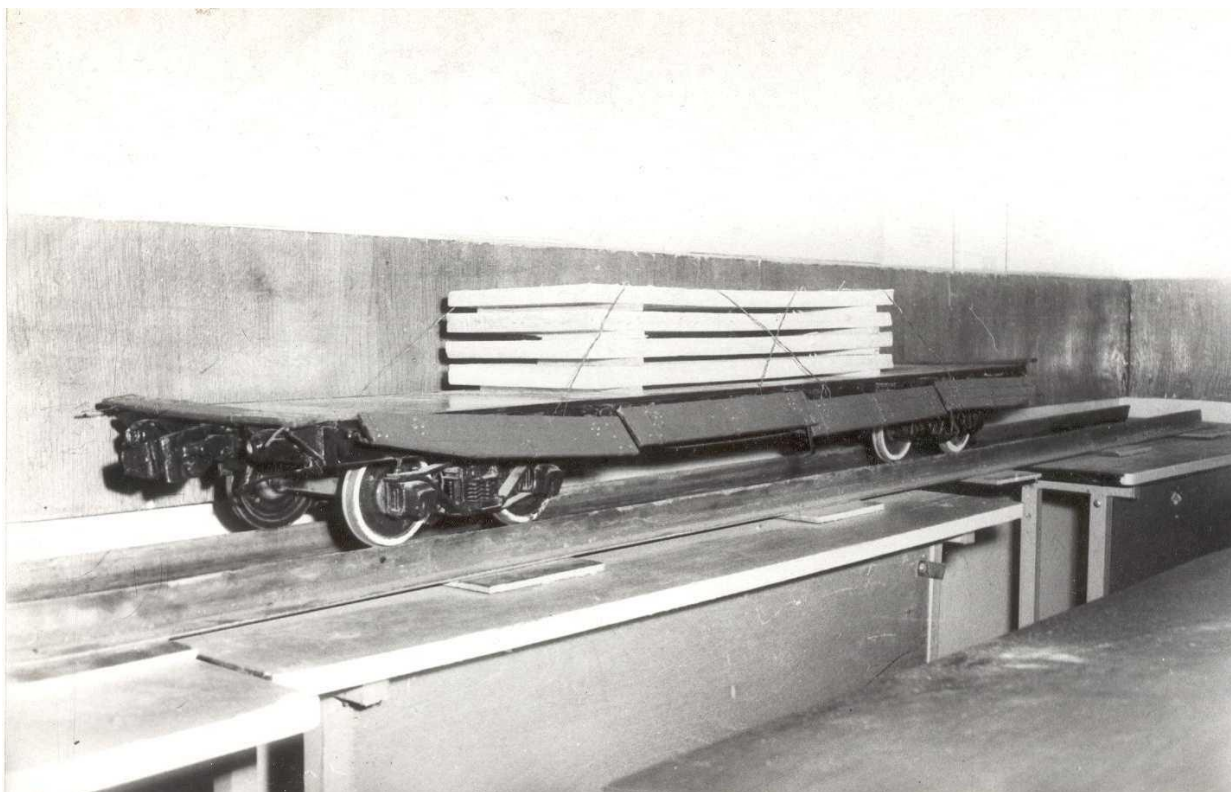


Рисунок 3.2 – Механічна модель залізничної чотиривісної платформи з закріпленням штабелем вантажу

На останньому етапі результати, отримані на механічній моделі і в експлуатаційних умовах порівнювались з результатами імітаційного моделювання, так, наприклад, математичне очікування достовірності (D) опису процесу пересування вантажу під час стикування вагонів на імітаційній моделі складає 97,17% при середньквадратичному відхиленні 0,71% (рис. 3.4).

Результати імітаційного моделювання та експериментів на механічній моделі порівнювались з результатами обробки даних натурних спостере-

жень, які були виконані на сортувальних комплексах станції Основа та Харків-Сортувальний Південної залізниці.

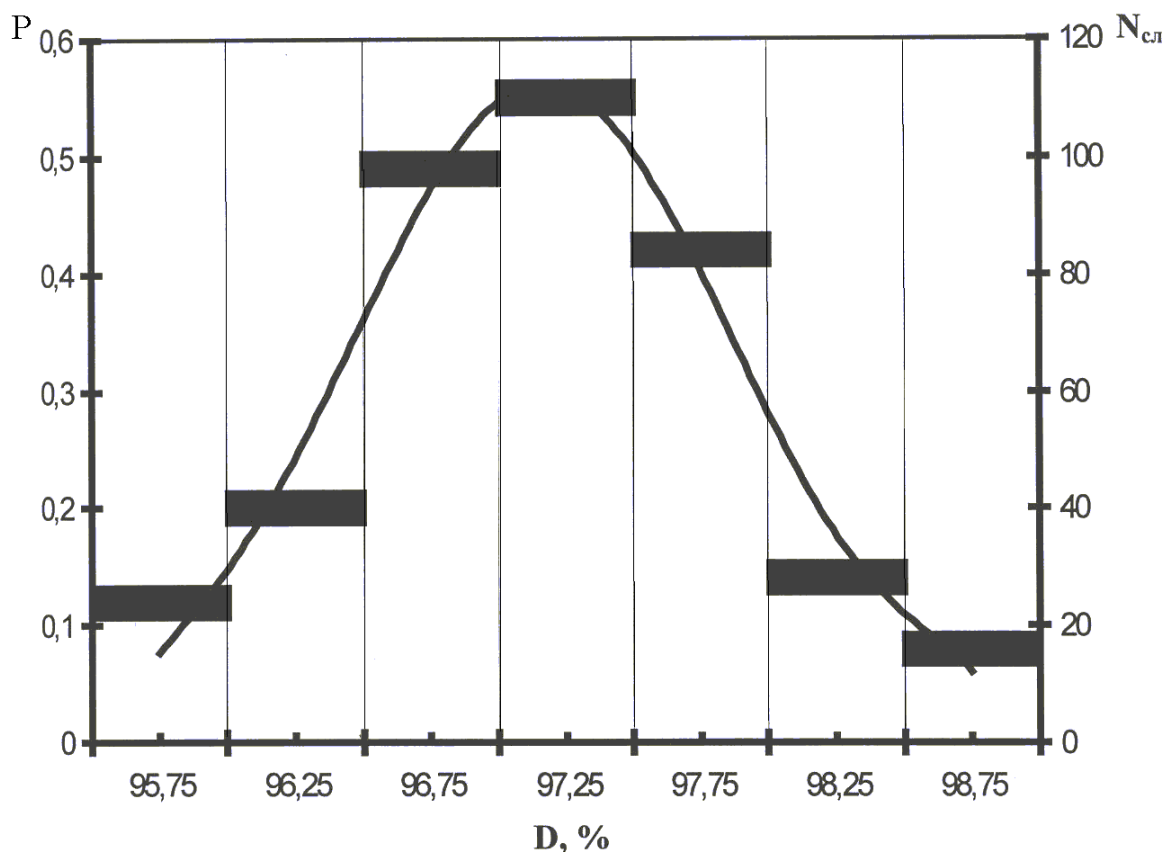
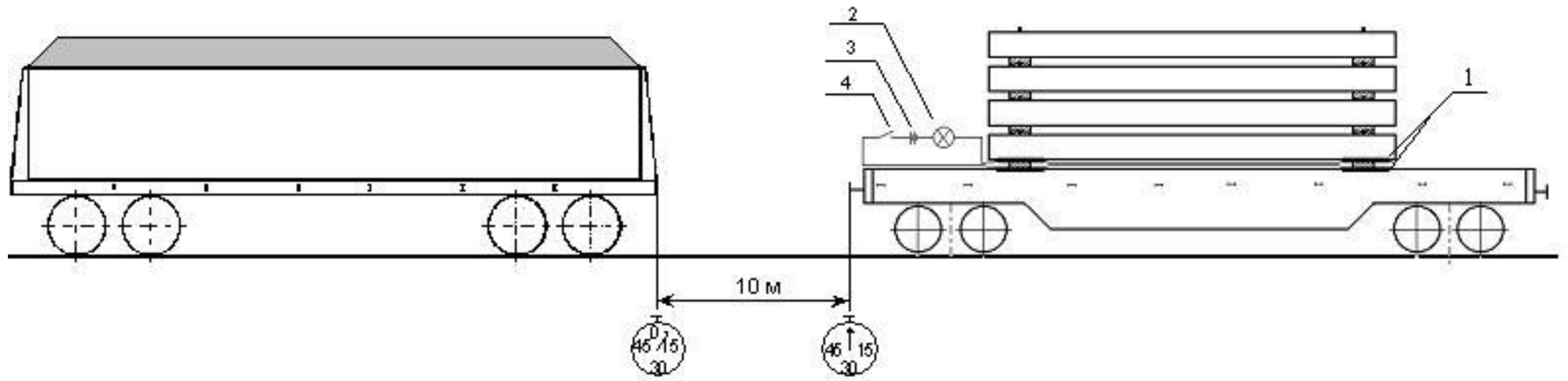


Рисунок 3.4 – Достовірність результатів імітаційного моделювання пересування вантажів під час стикування вагонів під час розпуску з сортувальних гірок

3.2 Експериментальні дослідження переміщення та перекидання штабельних вантажів

При проведенні досліджень швидкість співударів приймала значення 3,60; 4,32; 4,68; 5,20 і 5,40 км/год, коефіцієнт тертя вантажу по підлозі платформи приймав значення 0,46; 0,50 і 0,57. Одержані значення пересування вантажу, а також коефіцієнта стійкості наведені у таблиці 3.1.



- 1 – провідник електричного струму;
- 2 – лампа накаливання;
- 3 – елемент живлення;
- 4 – вимикач.

Рис. 3.3 – Принципова схема визначення швидкості співудару та режимів пересування вантажу по підлозі платформи

В результаті опитів встановлено, що пересування вантажу визначається прямо пропорційно двом факторам:

- швидкості співударів;
- коефіцієнту тертя вантажу по поверхні підлоги платформи об поверхні підкладок.

Проведені дослідження по співудару моделі платформи завантаженої корпусом задвижки масою 15 кг на дерев'яних підкладках. Дані наведені в таблиці 3.1.

Незакріплений вантаж при швидкості співудару 5,4 км/год пересувався на 0,21 ... 0,23 м без перекидання.

При закріпленні вантажу двома дротовими розтяжками діаметром Ø0,8 мм у дві нитки і швидкості співудару 5,4 км/год вантаж пересувався на 4 мм. При повторенні співудару розтяжки обірвались. Рух вантажу внаслідок пружинних властивостей дроту під час співудару має коливальний характер, що підтверджує висновки наведені в [92].

Таблиця 3.1 – Результати досліджень пересування незакріпленого і закріпленого вантажу та розриву розтяжок при зіткненні вагонів

Швидкість співудару вагонів		Коефіцієнт тертя вантажу по підкладках	Пересування вантажу, м	Коефіцієнт стійкості вантажу до перекидання	Відмітка про перекидання вантажу у вагоні або розрив розтяжки
м/с	км/год				
1	2	3	4	5	6
1,5	5,4	0,4	0,210	0,69	не перек.
1,0	3,6	0,4	0,065	0,69	не перек.

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5	6
1,5	5,4	0,4	0,230	0,69	не перек.
1,0	3,6	0,4	0,113	0,69	не перек.
1,5	5,4	0,4	0,004	0,69	не перек., розтяжка витримала навантаження
1,53	5,8	0,4	0,025	0,69	розрив розтяжки

Експериментальні дослідження поведінки незакріплених та закріплених штабельних вантажів наведені в табл. 3.2.

При порівнянні результатів, отриманих при імітаційному моделюванні, з результатами експериментальних досліджень виявилось, що вони практично ідентичні. Цей факт підтверджує правомірність отриманих результатів.

При співударах вагонів мають місце чотири режими:

ковзання (до швидкості 4,32 км/год);

політ (>4,32 км/год), коли вантаж відривається від платформи на якусь мить, та летить;

ковзання з перекиданням вантажу в кінці поступового руху у поздовжньому напрямку;

політ з перекиданням вантажу в кінці руху.

Результати імітаційного моделювання пересування незакріпленого штабелю вантажу по підлозі платформи наведені на рис. 2.16 – 2.27.

Таблиця 3.2 – Результати дослідження переміщення штабелю вантажу на механічній моделі

Швидкість співудару вагонів		Кількість розтяжок, що закріплюють ярус №				Кількість ниток у одній розтяжці	Пересування, ярусу №			
м/с	км/год	1	2	3	4		1	2	3	4
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1,00	3,60	0	0	0	0	0	0,210	0,210	0,210	0,210
1,50	5,40	0	0	0	0	0	0,360	0,360	0,360	0,360
1,25	4,30	2	0	0	0	4	0,019	0,590	0,590	0,590
1,15	4,14	2	2	0	0	4	0,017	0,020	0,543	0,543
1,00	3,60	2	2	2	0	4	0,014	0,017	0,018	0,490
1,50	5,40	2	2	2	2	4	0,045	0,048	0,053	0,055
1,10	3,96	2	0	0	0	6	0,013	0,520	0,520	0,520
1,00	3,60	2	2	0	0	6	0,012	0,016	0,515	0,515
1,15	4,14	2	2	2	0	6	0,018	0,020	0,024	0,546
1,43	5,20	2	2	2	2	6	0,024	0,026	0,031	0,039
1,15	4,14	4	0	0	0	4	0,009	0,551	0,551	0,551

Продовження таблиці 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1,00	3,60	4	4	0	0	4	0,005	0,006	0,486	0,486
1,25	4,30	4	4	4	0	4	0,014	0,014	0,017	0,578
1,50	5,40	4	4	4	4	4	0,021	0,024	0,025	0,028
1,15	4,14	4	0	0	0	6	0,001	0,596	0,596	0,596
1,00	3,60	4	4	0	0	6	0,001	0,001	0,571	0,571
1,25	4,30	4	4	4	0	6	0,001	0,001	0,001	0,597
1,50	5,40	4	4	4	4	6	0,001	0,001	0,001	0,001

Встановлено, що перекидання вантажів у поздовжньому напрямку при співударах виникає в кінці його поступового пересування при значеннях коефіцієнту стійкості η від 0,52 та менше.

Результати експериментальних досліджень по стійкості вантажу на платформі зведені у таблицю 3.3, 3.4.

Таблиця 3.3 – Результати співударів навантаженої платформи

Швидкість співудару вагонів		Коефіцієнт тертя вантажу по підлозі платформи	Пересування вантажу, м	Коефіцієнт стійкості вантажу до перекидання	Відмітка про перекидання вантажу у вагоні
м/с	км/год				
1	2	3	4	5	6
1,50	5,40	0,50	0,480	0,91	не перек.
1,30	4,68	0,50	0,290	0,91	не перек.
1,00	3,60	0,50	0,195	0,91	не перек.
1,20	4,32	0,50	0,270	0,91	не перек.
1,43	5,20	0,50	0,310	0,57	не перек.
1,43	5,20	0,50	0,363	0,57	не перек.
1,50	5,40	0,50	0,435	0,57	не перек.
1,00	3,60	0,50	0,145	0,57	не перек.
1,50	5,40	0,57	0,196	0,78	не перек.
1,50	5,40	0,57	0,200	0,36	перекид.
1,50	5,40	0,57	0,198	0,46	перекид.
1,50	5,40	0,46	0,220	0,76	не перек.
1,50	5,40	0,46	0,108	0,52	перекид.

Важливе значення має встановлення коефіцієнта стійкості вантажу у вагоні при проходженні горба та похилених частин гірки рухомим складом.

Дані досліджень наведені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.4 – Результати експериментальних досліджень стійкості вантажу у вагоні

Швидкість співудару вагонів				Коефіцієнт тертя вантажу по підлозі вагона	Переміщення вантажу, м	Коефіцієнт стійкості вантажу до перекидання	Відмітка про стійкість вантажу
м/с		км/год					
факт	розрах.	факт	розрах.				
1	2	3	4	5	6	7	8
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.

Таблиця 3.5 – Результати досліджень з нахилу платформи та стійкості вантажу

Кут нахилу платформи, °	Коефіцієнт стійкості вантажу до перекидання	Відмітка про стійкість вантажу
1	2	3
10	0,76	+
20	0,76	+
30	0,76	+

Продовження таблиці 3.5

1	2	3
35	0,76	не забезпеч.
10	0,52	+
20	0,52	+
30	0,52	+
35	0,52	не забезпеч.
10	0,91	+
20	0,91	+
30	0,91	+
35	0,91	+
10	0,78	+
20	0,78	+
30	0,78	+
35	0,78	не забезпеч.

Із таблиці 3.5 видно, що не забезпечується стійкість вантажів з коефіцієнтами стійкості 0,52; 0,76; 0,78 коли кут нахилу платформи у поздовжньому напрямку складає 35°.

Максимальний кут нахилу пола платформи на похиленій частині гірки складає 26°. Таким чином немає необхідності закріплення вантажів від перекидання, які мають коефіцієнт стійкості вище 0,52.

В “Технических условиях погрузки и крепления грузов” навантаження і кріплення вантажів вантажовідправників зобов’язують закріплювати вантаж від перекидання, якщо коефіцієнт запасу стійкості знаходиться в межах 0,8 – 1,0 (від поступових пересувань вантаж рекомендується утримувати одним типом кріплення, наприклад брусками, а від перекидання – другим кріпленням – розтяжками) [88]. Коли коефіцієнт запасу стійкості вантажу від перекидання дорівнює 1,01 – 1,25, то вантаж можна закріплювати розтяжка-

ми, що одночасно сприймають поздовжні і поперечні навантаження. Кількість ниток дроту визначається за найбільшим підсумковим зусиллям, що виникає в розтяжці від поступових пересувань і перекидання вантажу у вагоні.

Таким чином положення ТУ приводять до значних витрат дроту вантажовідправниками для закріплення від перекидання вантажів, що не перекидаються, а також зниження конкурентноздатності залізниць в ринкових умовах.

В той же час відривання вантажу від пола платформи та його політ при швидкості співударів 4,32 км/год (таблиця 3.5) свідчать про те, що врахування сили тертя в розрахунках деталей кріплення на міцність, як корисної [88], являється помилковим, що приводить до пошкоджень дротових розтяжок, вантажів і рухомого складу, а також значних збитків залізниць.

Висновки

На підставі викладеного у третьому розділі можна зробити наступні висновки.

1 При порівнянні результатів, отриманих на механічній моделі під час експериментів з даними, отриманими при імітаційному моделюванні математичне очікування достовірності опису процесу пересування вантажу під час стикування вагонів складає 97,17% при середньквдратичному відхиленні 0,71%.

2 Експериментально доказано, що стійкість вантажу у вагоні забезпечується проти перекидання без закріплення їх до швидкості співударів 13 км/год.

3 В ході експериментів отримані наступні результати:

– при першому розрахунковому сполученні:

- 1) незакріплений штабель вантажу 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 $l_{ноз}$;
– 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;
 - 4) відсутній рух вантажів та їх перекидання до коефіцієнта запасу стійкості 0,35.

РОЗДІЛ 4

**ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВАРІАНТІВ
НАВАНТАЖЕННЯ ТА КРІПЛЕННЯ ШТАБЕЛЬНИХ
ВАНТАЖІВ НА ВІДКРИТОМУ РУХОМОМУ СКЛАДІ**

**4.1 Визначення критерію оптимальних витрат залізниць та
вантажовідправників на підтримку бажаного рівня
забезпечення схоронності вантажів**

Критерій оптимальних витрат вантажовідправників та залізниць на підтримку заданого рівня забезпечення схоронності вантажів можливо визначити як [56, 78]

$$R_{nk} = R_{\text{вм}} + R_{\text{вз}} + R_{\text{зм}} + R_{\text{зз}} + R_{\text{за}} + R_{\text{зр}} + R_{\text{зе}} + R_{\text{зу}} + R_{\text{зс}} \rightarrow \text{мін}, \quad (4.1)$$

де $R_{\text{вм}}$ – витрати вантажовідправників на матеріали для кріплення вантажів по всім пунктам навантаження, які являються функцією відстані перевезення конкретних вантажів і визначаються як

$$R_{\text{вм}} = \sum_{i=1}^k [G_{\text{др}} C_{\text{др}} + G_{\text{пл}} C_{\text{пл}} + G_{\text{гв}} C_{\text{гв}} + N_{\text{зпн}} C_{\text{зпн}}], \quad (4.2)$$

де $G_{\text{др}}$ $G_{\text{пл}}$ $G_{\text{гв}}$ – витрати, відповідно, дроту, пиломатеріалів та гвіздків;

$C_{\text{др}}$ $C_{\text{пл}}$ $C_{\text{гв}}$ – вартість, відповідно, одного кг дроту, одного м³ пиломатеріалів та одного кг гвіздків;

$R_{\text{вз}}$ – витрати вантажовідправників на заробітну платню працівників, які забезпечують навантаження і кріплення вантажів по всім пунктам навантаження

$$R_{\text{вз}} = \sum_{i=1}^k [1 - 2Nt M_{\text{в}} (R_{\text{ов}} + R_{\text{од}}) K_p], \quad (4.3)$$

де N – кількість працівників, які беруть участь у навантаженні і кріпленні вантажу;

t – тривалість закріплення вантажу у вагоні;

$M_{\text{в}}$ – кількість вагонів, які завантажені за рік по кожному пункту навантаження [22];

$R_{\text{ов}} R_{\text{од}}$ – основні і додаткові витрати по фонду заробітної плати на підприємстві, відповідно;

K_p – коефіцієнт рівня рентабельності;

$R_{\text{зм}}$ – витрати залізниць для усунення відмовлень деталей кріплення у шляху прямування по всім пунктам комерційного огляду

$$R_{\text{зм}} = \sum_{j=1}^z [G_{\text{дп}} C_{\text{дп}} + G_{\text{нл}} C_{\text{нл}} + G_{\text{зв}} C_{\text{зв}}]; \quad (4.4)$$

$R_{\text{зз}}$ – витрати залізниць на заробітну плату робітників пунктів комерційного огляду

$$R_{\text{зз}} = \sum_{j=1}^z [1 - 2N_{\text{ПКО}} (R_{\text{оф}} + R_{\text{одф}}) K_p], \quad (4.5)$$

де $N_{\text{ПКО}}$ – кількість робітників, які забезпечують комерційний огляд та усунення відмовлень деталей кріплення вантажу на ПКО;

$R_{\text{оф}} R_{\text{одф}}$ – відповідно основні і додаткові витрати по фонду заробітної плати для залізниць;

R_{3a} – витрати залізниць на амортизацію навантажувально-розвантажувальних машин, які застосовуються на пунктах комерційного огляду для усунення комерційних несправностей

$$R_{3a} = K_m N_m (A_b + A_k), \quad (4.6)$$

де K_m – балансова вартість машини з урахуванням на монтаж та перевезення;

N_m – кількість машин на пунктах комерційного огляду однакового типу;

A_b, A_k – величина відрахувань, відповідно, на відбудування та капітальний ремонт у долях одиниці;

R_{3p} – витрати залізниць на поточний та середній ремонт навантажувально-розвантажувальних машин на пунктах комерційного огляду

$$R_{3p} = K_m N_m A_{m\Gamma}, \quad (4.7)$$

де $A_{m\Gamma}$ – величина відрахувань на середній та поточний ремонт навантажувально-розвантажувальних машин;

R_{3e} – витрати залізниць на силову енергію, яку споживають навантажувально-розвантажувальні машини

$$R_{3e} = P T K_1 K_2 K_3 K_4 N_m C_e, \quad (4.8)$$

де P – сумарна потужність електродвигунів однієї навантажувально-розвантажувальної машини;

- T – тривалість роботи однієї навантажувально-розвантажувальної машини протягом року;
- K_1 – коефіцієнт, який враховує тривалість роботи електродвигунів;
- K_2 – коефіцієнт, який враховує неодноразовість роботи електродвигунів;
- K_3 – коефіцієнт використання потужності електродвигунів;
- K_4 – коефіцієнт, який враховує втрати електроенергії у електророзподільчій мережі;
- C_e – вартість 1 кВт години електроенергії;
- R_{3y} – витрати залізниць, пов'язані з пошкодженням вагонів і витратами від несхоронності вантажів із-за відмовлення деталей кріплення;
- R_{3z} – витрати залізниць, пов'язані з затримкою поїздів з вантажами і маневровими операціями по відчепленню вагонів для усунення комерційних несправностей;
- R_{3c} – витрати залізниць, пов'язані з придбанням, встановленням та експлуатацією автоматизованих систем контролю стану кріплення, а також вантажу у шляху прямування.

4.2 Технічно-економічне обґрунтування впровадження удосконалених методів розрахунку кріплення штабельних вантажів на відкритому рухомому складі

Економічний ефект від впровадження удосконалених методів розрахунку кріплення штабельних вантажів на відкритому рухомому складі досягається за рахунок:

- економії кріпильних матеріалів та працевитрат, які йдуть на закріплення вантажу у пункті навантаження;

- економії кріпильних матеріалів та працевитрат, які йдуть на відновлення елементів кріплення вантажу на всьому шляху прямування;
- скорочення витрат із-за зменшення втрат від несхоронних перевезень штабельних вантажів;
- скорочення витрат на ремонт вагонів із-за пошкоджень при перевезенні штабельних вантажів.

Загальна вартість кріпильних матеріалів, які йдуть на закріплення вантажу вантажовідправником у пункті навантаження із розрахунку на один завантажений вагон визначається за формулою

$$E_{кр.м} = m_{др} C_{др} + V_{дер} C_{дер}, \quad (4.9)$$

де $m_{др}$ – маса термічно обробленого відпаленого дроту, який йде на закріплення вантажу, кг;

$C_{др}$ – вартість одного кілограму дроту, грн ($C_{др} = 3,15$ грн);

$V_{дер}$ – об'єм деревини, яка йде на закріплення вантажу, м³;

$C_{дер}$ – вартість одного м³ деревини, грн ($C_{дер} = 24,50$ грн).

До впровадження удосконалених методів розрахунку витрати матеріалів на закріплення 60 т залізобетонних виробів на платформі складали

$$E_{кр.м} = 1153,15 + 1,25245 = 66,80 \text{ грн}$$

Після впровадження витрати матеріалів будуть дорівнювати

$$E'_{кр.м} = 1603,15 + 1,15245 = 78,75 \text{ грн}$$

Збільшення витрат матеріалів при запровадженні удосконалених методів розрахунку кріплення штабельних вантажів на відкритому рухомому складі буде дорівнювати

$$\Delta E_{кр.м} = E_{кр.м} - E'_{кр.м}. \quad (4.10)$$

$$\Delta E_{кр.м} = 7855 - 6680 = 1175 \text{ грн}$$

Витрати, які йдуть на заробітну платню працівникам, що виконують закріплення вантажу у вагоні, дорівнюють

$$E_{з/н} = t_{кр} S_{ГТС} (1 + 0,786) 1,390 \quad (4.11)$$

де $t_{кр}$ – час на навантаження і кріплення вантажу у одному вагоні, год [75];

$S_{ГТС}$ – годинна тарифна ставка робітників, які беруть участь у навантаженні і закріпленні вантажу ($S_{ГТС} = 217$ коп/ГС) [70];

0,786 – коефіцієнт нарахування на заробітну платню (30% – премії; 30% – вислуга років; 15% – нічні; 3,6% – святкові);

1,390 – коефіцієнт нарахування на заробітну платню.

До впровадження удосконалених методів розрахунку час на закріплення одного штабелю вантажу складав 115 хвилин (у вагон навантажуються два штабеля вантажу. Загальний час на завантаження одного вагона складає $1152 = 231$ хвилин, або 3,83 години). Таким чином витрати на заробітну платню складуть

$$E_{з/н} = 3,83 \cdot 217 \cdot (1 + 0,786) \cdot 1,390 = 2064 \text{ грн}$$

Після впровадження час на навантаження і закріплення вантажу у одному вагоні складе $1452=291$ хвилин, або 4,83 години

$$E'_{3/n} = 4,83 \cdot 217 \cdot (1 + 0,78) = 1390,32 \text{ грн.}$$

Збільшення витрат на заробітну платню складе

$$\Delta E_{3/n} = E'_{3/n} - E_{3/n}. \quad (4.12)$$

$$\Delta E_{3/n} = 2603 - 2064 = 539 \text{ грн}$$

Загальне збільшення витрат вантажовідправників при використанні удосконалених методів розрахунку закріплення штабельних вантажів на відкритому рухомому складі із розрахунку на один відправлений вагон складе

$$\Delta E_{від} = \Delta E_{кр.м} + \Delta E_{3/n}. \quad (4.13)$$

$$\Delta E_{від} = 1125 + 539 = 1264 \text{ грн}$$

Витрати залізниць, які йдуть на відшкодування вантажовласникам коштів за несхоронні перевезення на один відправлений вагон складуть

$$E_{н.п.} = Q_{ван} k C_{ван}, \quad (4.14)$$

де $Q_{ван}$ – маса вантажу у вагоні ($Q_{ван} = 60000 \text{ кг}$);

k – коефіцієнт, який вказує долю вантажу, що надійшов до пункту призначення з пошкодженнями;

$C_{ван}$ – вартість одного кг вантажу, грн.

По даним досліджень кафедри “Управління вантажною і комерційною роботою” Української державної академії залізничного транспорту більш ніж 5% вантажу надходило із пошкодженням. Згідно з прайс-листами великих українських виробників залізобетонних виробів середня вартість залізобетонної плити масою 6 т станом на 02.02.2003 р. складала 360,00 грн. Тобто один кг залізобетонних виробів складав $36000060000,00$ грн.

До впровадження витрати залізниць на відшкодування вантажовласникам коштів за несхоронні перевезення складали

$$E_{н.п.} = 60000,050,06 = 18000 \text{ грн}$$

Після впровадження удосконалених методів розрахунку частка виробів, які надходять до пункту призначення з різноманітними пошкодженнями, скоротиться як мінімум у два рази, тобто

$$E'_{н.п.} = 60000,0250,06 = 9000 \text{ грн}$$

Економія коштів від скорочення частки вантажу, який надходить до пункту призначення із пошкодженнями, після впровадження удосконалених методів розрахунку кріплення штабельних вантажів на відкритому рухомому складі складе

$$\Delta E_{н.п.} = E_{н.п.} - E'_{н.п.} \quad (4.15)$$

$$\Delta E_{н.п.} = 18000 - 9000 = 9000 \text{ грн}$$

Витрати залізниць, пов'язані із відновленням кріплення вантажу у пунктах комерційного огляду (ПКО) складають

$$E_{ПКО} = E_{кр}^{ПКО} + E_{з/н}^{ПКО} + E_{нр}^{ПКО}, \quad (4.16)$$

де $E_{кр}^{ПКО}$ – витрати залізниць на матеріали кріплення, грн. По даним досліджень кафедри “Управління вантажною і комерційною роботою” [75] на ПКО потребувало відновлення 60% кріплення від загальної кількості матеріалів, які витрачаються на закріплення вантажу у пункті навантаження, а після впровадження запропонованих методів розрахунку витрати матеріалів скоротяться до 35%, тобто

$$E_{кр}^{ПКО} = 0,6 E_{кр.м}; \quad (4.17)$$

$$E_{кр}^{*ПКО} = 0,35 E_{кр.м}^*$$

$$E_{кр}^{ПКО} = 0,6 \cdot 66,80 = 40,10 \text{ грн}$$

$$E_{кр}^{*ПКО} = 0,35 \cdot 78,55 = 27,50 \text{ грн}$$

$E_{з/н}^{ПКО}$ – витрати залізниць на заробітну платню робітникам, зайнятим на відновленні кріплення у ПКО, грн, розраховуються як

$$E_{з/н}^{ПКО} = t_{від} S_{ГТС} (1 + 0,78) = 1390, \quad (4.18)$$

де $t_{від}$ – витрати часу на відновлення кріплення, грн;

$E_{нр}^{ПКО}$ – витрати, пов’язані із знаходженням вагонів під операціями по відновленню кріплення, грн, визначаються з виразу

$$E_{нр}^{ПКО} = t_{нр} K_{ПКО} S_{ваггоc} \quad (4.19)$$

де t_{np} – загальний час знаходження вагону під операціями, пов’язаними з відновленням кріплення по всім ПКО, год;

$K_{ПКС}$ – кількість ПКО, на яких кріплення потребує відновлення;

$S_{ваг-год}$ – вартість однієї вагоно-години, грн ($S_{ваг-год} = 0,37$ грн) [22].

По даним Укрзалізниці середня відстань перевезення залізобетонних виробів по Україні складає 455 км. Відстань між ПКО на сьогодні складає 107,6 км. Так як у пункті навантаження кріплення не потребує відновлення, то середня кількість пунктів комерційного огляду на шляху прямування вагону складе

$$K_{ПКО} = \frac{455}{107,6} - 1 = 3,23$$

Час знаходження вагону під операціями, пов’язаними з відновленням кріплення вантажу, на одному ПКО складає 8 годин. До впровадження удосконалених методів розрахунку кріплення потребувало відновлення на кожному ПКО, а після впровадження – вагон буде зупинятись не більше, ніж на одному ПКО. Таким чином, витрати, пов’язані із знаходженням вагонів під операціями по відновленню кріплення, до впровадження складуть

$$E_{np}^{ПКО} = 8 \cdot 3,23 \cdot 0,37 = 9,56 \text{ грн}$$

Після впровадження вони будуть складати

$$E_{np}^{*ПКО} = 8 \cdot 1 \cdot 0,37 = 2,96 \text{ грн}$$

Витрати на заробітну платню робітникам, зайнятим у відновленні кріплення на ПКО складуть

– до впровадження

$$E_{3/n}^{ПКО} = 8 \cdot 3,23217 \cdot (1 + 0,78) \cdot 1,390 \approx 13,23 \text{ грн}$$

– після впровадження

$$E_{3/n}^{*ПКО} = 8 \cdot 1 \cdot (1 + 0,78) \cdot 1,390 \approx 4,31 \text{ грн}$$

Загальна економія коштів залізниць в розрахунку на один завантажений вагон на ПКО після впровадження удосконалених методів розрахунку кріплення буде дорівнювати

$$\Delta E_{ПКО} = (E_{кр}^{ПКО} - E_{кр}^{*ПКО}) + (E_{3/n}^{ПКО} - E_{3/n}^{*ПКО}) + (E_{np}^{ПКО} - E_{np}^{*ПКО}). \quad (4.20)$$

$$\Delta E_{ПКО} = (40,10 - 27,51) + (13,23 - 4,31) + (9,56 - 2,96) = 22,81 \text{ грн}$$

Сума коштів, які йдуть на ремонт рухомого складу після перевезення залізобетонних виробів складає

$$E_{p.c.} = C_{др} k_{нош} \quad (4.21)$$

де $C_{др}$ – вартість одного деповського ремонту вагона, грн ($C_{др} = 3000$ грн);

$k_{нош}$ – коефіцієнт, який вказує на частку витрат, які йдуть на ремонт по усуненню пошкоджень рухомого складу, внаслідок перевезення залізобетонних виробів (до впровадження – 0,18, після впровадження – 0,09):

– до впровадження

$$E_{p.c.} = 3000,18 = 5400 \text{ грн}$$

– після впровадження

$$E'_{p.c.} = 3000,09 = 2700 \text{ грн}$$

Економія коштів на ремонт одного вагону після впровадження удосконалених методів розрахунку кріплення складе

$$\Delta E_{p.c.} = E_{p.c.} - E'_{p.c.} \quad (4.22)$$

$$\Delta E_{p.c.} = 5400 - 2700 = 2700 \text{ грн}$$

Економічний ефект від впровадження удосконалених методів розрахунку кріплення штабельних вантажів на відкритому рухомому складі складе на один відправлений вагон

$$E = \Delta E_{від} + \Delta E_{н.н.} + \Delta E_{ПКО} + \Delta E_{p.c.} \quad (4.23)$$

$$E = -1264 + 9000 + 2281 + 2700 = 4617 \text{ грн}$$

За рік економічний ефект складе

$$E_{річ} = \frac{365}{O_g} E, \quad (4.24)$$

де O_g – оборот вагона, діб ($O_g = 9,88 \text{ доб}$) [22].

$$E_{piv} = \frac{365}{9,88} \cdot 4667 = 17221,87 \text{ грн}$$

Таким чином, після впровадження удосконалених методів розрахунку кріплення штабельних вантажів на відкритому рухомому складі економічний ефект складе 17221,87 грн за рік у розрахунку на один вагон.

Висновки

Виходячи з розрахунків, проведених у розділі 4, можна зробити наступні висновки:

1 Наведений критерій оптимальних витрат залізниць та вантажовідправників на підтримку бажаного рівня забезпечення схоронності вантажів показує, що оптимальний рівень безпеки руху можна досягти завдяки раціональному сполученню заходів на місцях навантаження, а також здійсненню контролю на всьому шляху прямування вантажу.

2 Запропонована методика розрахунку техніко-економічного обґрунтування впровадження удосконалених методів розрахунку кріплення штабельних вантажів на відкритому рухомому складі. Встановлено, що економічний ефект досягається за рахунок:

- економії кріпильних матеріалів та працевитрат, які йдуть на закріплення вантажу у пункті навантаження;
- економії кріпильних матеріалів та працевитрат, які йдуть на відновлення елементів кріплення вантажу на всьому шляху прямування;
- скорочення витрат із-за зменшення втрат від несхоронних перевезень штабельних вантажів;
- скорочення витрат на ремонт вагонів із-за пошкоджень при перевезенні штабельних вантажів.

По цій методиці був розрахований економічний ефект (із розрахунку на один вагон) від застосування удосконалених методів, наведених у другому розділі при розрахунку технічних умов навантаження та кріплення залізобетонних плит перекриття для будівель та споруд, який склав 17221,87 грн із розрахунку на один вагон.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

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 дротових розтяжок на обмежену довговічність запропоновано виконувати за межею текучості з урахуванням відносного по-

довження 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

вантажів 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 прямуювання 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 ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1 Андерсен В., Нортон П. Разработка приложений в Access'97 в подлиннике: Пер. с англ.: – Спб.: ВHV. – Санкт-Петербург, 1998. – 656 с.
- 2 Астанін В. В. Основи розрахунків на міцність: Навчальний посібник. – Харків: Транспорт України, 2001. – 210 с.
- 3 Барлоу Р., Прошан Ф. Математическая теория надежности. – М.: Советское радио, 1969. – 488 с.
- 4 Беляев Н. М. Сопротивление материалов. – М.: Наука, 1976. – 608 с.
- 5 Бешкетто В. К., Курносенко П. А., Флейшман Б. А. Вопросы совершенствования организации грузовой работы железных дорог: Методические указания. – Новосибирск, 1975. – 52 с.
- 6 Вентцель Е. С. Исследование операций. – М.: Советское радио, 1972. – 552 с.
- 7 Вершинский С. В. , Данилов В. Н., Хусидов В. Д. Динамика вагона: Учеб. для ВУЗов ж.-д. транспорта / Под ред. С. В. Вершинского. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1991. – 360 с.
- 8 Вершинский С. В. Продольная динамика вагонов в грузовых поездах: Сб. науч. тр. / ВНИИЖТ. – М.: Трансжелдориздат, 1957. – Вып. 143. – 263 с.
- 9 Вибрации в технике: Справочник: В 6 т. / Ред. совет: В. Н. Челомей. – М.: Машиностроение, 1981. – Т. 6 Защита от вибрации и ударов / Под ред. К. В. Фролова, 1981. – 456 с.
- 10 Виттенберг Й. Динамика систем твердых тел. – М.: Мир, 1980. – 296 с.
- 11 Войтюк Н. С., Псеровская Е. Д. О переработке сетевых технических условий размещения и крепления железобетонных плит и панелей на платформах // Сб. науч. тр. / НИИЖТ. – 1985. – Вып. 279: Обеспечение сохранности грузов и рациональное использование вагонов. – С. 5 – 13.

- 12 Воронков И. М. Курс теоретической механики. – М.: Транспорт, 1966. – 596 с.
- 13 Гончаров Н. Г., Ефимов Г. П. Перевозки негабаритных и тяжеловесных грузов. – М.: Трансжелдориздат, 1959. – 224 с.
- 14 Гридюшко В. И. Подготовка полувагонов и платформ под погрузку // Ж.-д. трансп. – 1970. – №7. – С. 25–28.
- 15 Гриневич Г. П. Контейнерные перевозки на железнодорожном транспорте / В. Р. Бурслан. Выбор типов вагоноопрокидывателей для железных дорог СССР: – Сб. науч. тр. / МЭМИИТ. – М.: Гос. трансп. ж.-д. изд-во; Трансжелдориздат, 1938. – Вып. 37. – 160 с.
- 16 Грузовые вагоны железных дорог колеи 1520 мм: Альбом-справочник 002И-97 ПКБ ЦВ МПС. – М.: Транспорт, 1998. – 175 с.
- 17 Динамика удара: Пер. с англ. / Дж. А. Зукас, Т. Николас, Х. Ф. Свифт и др. – М.: Мир, 1985. – 296 с.
- 18 Егоров С. А. О распределении нагрузок между распорными элементами и растяжками, закрепляющими грузы в вагонах // Сб. науч. тр. / НИИЖТ. – 1977. – Вып. 183: Рациональное использование вагонов и обеспечение сохранности грузов. – С. 34 – 42.
- 19 Егоров С. А. О расчете поперечных увязок от продольного сдвига элементов груза в вагоне при многоярусной погрузке // Сб. науч. тр. / НИИЖТ. – 1977. – Вып. 183: Рациональное использование вагонов и обеспечение сохранности грузов. – С. 16 – 24.
- 20 Егоров С. А. Расчет стяжек для «омоноличивания» элементов грузов, устанавливаемых в вагонах в вертикальном положении // Сб. науч. тр. / НИИЖТ. – 1977. – Вып. 183: Рациональное использование вагонов и обеспечение сохранности грузов. – С. 25 – 33.
- 21 Ефимов Г. П. Крепление грузов на открытом подвижном составе: Сб. науч. тр. / ВНИИЖТ. – М.: Трансжелдориздат, 1952. – Вып. 71. – 136 с.

- 22 Звіт головного комерційного управління Укрзалізниці за 2001 рік / МТУ; Укрзалізниця. – К., 2002. – 85 с.
- 23 Карновский И. А., Почман Ю. М. Методы оптимального управления колебаниями дифференцируемых систем. – Киев; Донецк: Вища школа, 1982. – 116 с.
- 24 Козлов Е. С., Котенко А. Н. Эффективное использование подвижного состава // Ж.-д. трансп. – 1982. – №6. – С. 21 – 23.
- 25 Колоушек В. Динамика строительных конструкций. – М.: ИЛС, 1965. – 632 с.
- 26 Концепция автоматизации разработки, экспертизы и использования технических условий погрузки и крепления грузов в вагонах. Болотин В. А., Рожкова Е. А. Ресурсосберегающие технологии и технические средства на Октябрьской ж.-д. дороге: Тез. докл. научн.-практ. конф., Санкт-Петербург, 18 – 19 марта, 1999. Спб. 1999, с. 83 – 85.
- 27 Котенко А. М., Мкртчян Д. І. Експериментальні дослідження стикування вагонів при розпуску їх з сортувальних гірок // Зб. наук. праць. – УкрДАЗТ. – 2002. – Вип. 49. – С. 107 – 111.
- 28 Котенко А. М., Мкртчян Д. І. Особливості теорії кріплення штабельних вантажів в вагонах // Зб. наук. праць. – ХарДАЗТ. – 2001. – Вип. 45. – С. 43 – 49.
- 29 Котенко А. М., Мкртчян Д. І. Підвищення надійності кріплення вантажів // Залізн. трансп. України. – 2002. – №4. – С. 8 – 10.
- 30 Котенко А. М., Мкртчян Д. І. Удосконалення теорії кріплення вантажів у вагонах // Зб. наук. праць. – ХарДАЗТ. – 2001. – Вип. 47. – С. 4 – 12.
- 31 Котенко А. М. Підвищення безпеки руху при перевезенні вантажів // Залізн. трансп. України. – 1997. – №1. – С. 14 – 15.
- 32 Котенко А. М. Підвищення рівня безпеки руху поїздів в умовах формування транспортного ринку // Залізн. трансп. України. – 1997. – №1. – С. 33 – 35.

- 33 Котенко А. М., Поляков А. О., Мкртычян Д. И. Основні напрямки удосконалення технічних умов навантаження та кріплення вантажів // Зб. наук. праць. – ХарДАЗТ. – 2001. – Вип. 47 – С. 40 – 47.
- 34 Котенко А. Н., Мкртычян Д. И., Абесадзе П. З. Исследование перемещения грузов в процессе перевозки // Зб. наук. праць. – ХарДАМГ. – 2001. – Вип. 33. – С. 245 – 250.
- 35 Котенко А. Н., Мкртычян Д. И. Повышение уровня безопасности и сохранности перевозимых грузов // Залізн. трансп. України. – 2002. – №2. – С. 31 – 34.
- 36 Котенко А. Н., Мкртычян 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.
- 37 Котенко А. Н. Надежность и эффективность погрузки и крепления грузов // Межвуз. сб. научн. трудов / ХарГАЖТ. – 1995. – Вып. 27. – С. 45 – 52.
- 38 Котенко А. Н. Обеспечение надежности погрузки и крепления грузов // Ж.-д. трансп. – 1994. – №2. – С. 15 – 18.
- 39 Котенко А. Н. Обеспечение правильной погрузки и крепления грузов // Ж.-д. трансп. – 1992. – №3. – С. 18 – 21.
- 40 Котенко А. Н. Обеспечение сохранности перевозимых грузов и безопасности движения поездов: Учеб. пособие. – Харьков: ХИИТ, 1992. – 118 с.
- 41 Котенко А. Н., Поляков А. А., Мкртычян Д. И. Совершенствование технических условий погрузки и крепления грузов // Залізн. трансп. України. – 2001. – №4. – С. 26 – 28.
- 42 Котенко А. Н. Совершенствование технологии погрузочно-разгрузочных операций // Ж.-д. трансп. – 1992. – №7. – С. 27 – 30.
- 43 Крагельский И. В., Виноградова И. Э. Коэффициенты трения. – М.: Машиностроение, 1962. – 220 с.

- 44 Критерии оценки безопасности движения // Ж. д. мира. – 2000. – №8. – С. 57 – 62.
- 45 Крыжановский Г. В. Безопасность движения поездов – управляемый процесс // Ж.-д. трансп. – 1989. – №9. – С. 18 – 24.
- 46 Кувалдин А. Н., Клевцова Г. С. Примеры расчета железобетонных конструкций зданий. – М.: Стройиздат, 1976. – 312 с.
- 47 Курочкин Г. П. К вопросу определения жесткости упругих креплений груза на подвижном составе // Сб. науч. тр. / НИИЖТ. – 1977. – Вып. 183: Рациональное использование вагонов и обеспечение сохранности грузов. – С. 125 – 131.
- 48 Лагранж Аналитическая механика. – М.: Редакция технико-теоретической литературы, 1938. – 348 с.
- 49 Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика: Учеб. пособие: В 10 т. Т. 1. Механика. – 4-е изд., испр. – М.: Наука, 1988. – 216 с.
- 50 Лузинов Ю. М., Тарлыков В. И. Определение допустимых нагрузок на верхние увязочные устройства кузова полувагона // Сб. науч. тр. / НИИЖТ. – 1976. – Вып. 172: Обеспечение сохранности грузов при железнодорожных перевозках. – С. 72 – 78.
- 51 Лисовский А. Колебания прямых стержней и рам. – М.: ГИЛСАСМ, 1961. – 160 с.
- 52 Маламедов И. И. Физические основы надежности. – М.: Энергия, 1970. – 152 с.
- 53 Малов А. Д. Крепление грузов на открытом подвижном составе для перевозки при высоких скоростях движения. Труды ВНИИЖТ. – Вып. 294. – М.: Транспорт, 1965. – 166 с.
- 54 Математичні моделі вантажної станції (обслуговування автотранспорту) / М. І. Данько, А. М. Котенко, Д. І. Мкртичян, О. М. Пелепейко // Зб. наук. пр. – ХарДАЗТ. – 2001. – Вип. 47. – С. 12 – 18.

- 55 Материалы научно-технической конференции по вопросам рационализации перевозок грузов. – М.: МИИТ, 1974. – 56 с.
- 56 Методические указания по определению экономической эффективности новой техники, изобретений и рационализаторских предложений на железнодорожном транспорте. – М.: Транспорт, 1980. – 132 с.
- 57 Никольский Л. Н. Статистическое исследование продольных усилий, действующих на подвижной состав // Техника железных дорог. – 1951. – №10. – С. 16 – 19.
- 58 Обеспечение сохранности грузов при железнодорожных перевозках: Справочник / Под ред. В. К. Бешкетов, Ю. А. Носкова – М.: Транспорт, 1982. – 238 с.
- 59 Общие требования к размещению и креплению грузов в вагонах: Сборник правил и перевозок и тарифов железнодорожного транспорта Союза ССР №246. – М.: Транспорт, 1981. – 64 с.
- 60 Панькин Н. А., Стесин И. М. Распределение прогибов и изгибных напряжений в длинной весомой балке, лежащей на упругом основании // Сб. науч. тр. / МИИТ. – 1974. – Вып. 473: Прикладная математика и задачи транспорта. – С. 36 – 62.
- 61 Пеллинец В. С. Измерение ударных ускорений. – М.: Издательство стандартов, 1975. – 65 с.
- 62 Пестременко А. З., Лукьянов Ю. Е. Графические расчеты крепления грузов для скорости движения поездов 100 км/ч // Межвуз. сб. науч. тр. / МИИТ. – 1978. – Вып. 588: Вопросы организации грузовой и коммерческой работы. – С. 99 – 106.
- 63 Петров И. А., Кодыш Э. Н. К вопросу обеспечения сохранности сборных железобетонных конструкций при перевозках // Промышленное строительство. – 1972. – №7. – С. 6 – 11.
- 64 Планк М. Принцип сохранения энергии. – М.: ГОНТИ, 1938. – 235 с.

- 65 Повороженко В. В., Орлова И. А. Повышение производительности грузового вагона. – М.: Транспорт, 1979. – 216 с.
- 66 Половко А. М. Основы теории надежности. – М.: Наука, 1964. – 446 с.
- 67 Пол Санна и др. Visual Basic для приложений (версия 5) в подлиннике: Пер. с англ. – СПб, 1999. – 704 с.
- 68 Поляков А. А., Ломотько Д. В. Расчет растяжек модифицированным координатным способом на ПЭВМ при разработке схем погрузки и крепления грузов на открытом подвижном составе: Методические указания пользователю программой RAST.EXE. – Харьков: ХарГАЖТ, 1995. – 17 с.
- 69 Приборы и системы для измерения вибрации шума и удара: Справочник / Под ред. В. В. Улюева. – М.: Машиностроение, 1978. – 448 с.
- 70 Про вдосконалення організації заробітної плати і введення нових тарифних ставок і посадових окладів працівників залізничного транспорту України: Наказ МТУ №220-Ц від 29.04.2002 р. – К.: Укрзалізниця, 2002. – 126 с.
- 71 Пучко А. А., Котенко А. Н. Эффективное использование вагонов // Ж.-д. трансп. – 1983. – №9. – С. 37 – 40.
- 72 Размещение и крепление грузов в вагонах: Справочник / Под ред. А. Д. Малова – М.: Транспорт, 1980. – 328 с.
- 73 Размещение и крепление грузов в вагонах: Справочник / А. Д. Малов, О. И. Михайлов, Г. М. Шнейнфер, Г. П. Ефимов – М.: Транспорт, 1984. – 328 с.
- 74 Размещение и крепление железобетонных, асбоцементных и других изделий и конструкций: Сборник правил перевозок и тарифов железнодорожного транспорта Союза ССР №302. – М.: Транспорт, 1984. – 48 с.
- 75 Разработка и внедрение местных технических условий погрузки и крепления грузов при увеличении загрузки вагонов: Научно-

технический отчет / А. А. Поляков, А. Н. Котенко, А. З. Пестременко, Л. М. Старова. – Харьков: ХИИТ, 1987. – 438 с.

76 Раціоналізація розміщення та кріплення деяких хімічних вантажів у критих вагонах / А. О. Поляков, В. М. Гриценко, В. М. Запара, Д. В. Ломотько // Міжвуз. зб. наук. пр. / ХарДАЗТ. – 1998. – Вип. 33. – С. 27 – 33.

77 Синегин Н. Р., Котенко А. Н., Поляков А. А. Опыт повышения статической нагрузки // Ж.-д. трансп. – 1988. – №12. – С. 10 – 14.

78 Сметанин И. А., Ежова Н. В., Шленский В. Н. Технико-экономические показатели эксплуатационной работы железных дорог: Справочник. – М.: Транспорт, 1977. – 112 с.

79 Смехов А. А. Математические модели процессов грузовой работы. – М.: Транспорт, 1982. – 256 с.

80 СНиП 2.03.01-84. Бетонные и железобетонные конструкции / Госстрой СССР. – М.: ЦитП Госстроя СССР, 1985. – 79 с.

81 Совершенствование способов перевозки железобетонных элеваторных конструкций при скоростях движения 100 км/ч / Б. А. Флейшман, В. А. Романов, М. Д. Приходько, С. А. Егоров, И. Е. Глотов // Сб. науч. тр. / НИИЖТ. – 1977. – Вып. 183: Рациональное использование вагонов и обеспечение сохранности грузов. – С. 8 – 15.

82 Совершенствование способов размещения и крепления грузов в вагонах / Под ред. канд. техн. наук А. Д. Малова. Труды ЦНИИ МПС. – Вып. 421. – Изд-во «Транспорт», 1970. – С. 1 – 136.

83 Соколов Й. О. Розробка методики оцінки рівня безпеки руху на залізничному транспорті: Дис... канд. техн. наук: 05.22.20. – Харків: ХарДАЗТ, 2000. – 200 с.

84 Спосіб розміщення залізобетонних коритоподібних плит на залізничній платформі: Пат. 40956 Україна, МПК⁷ В 60 Р 3/40 В 61 D 3/10. Укр. держ. ун-т харчов. технол., Легеза Віктор Петрович, №2000/2977; Заявл. 05.12.2000; Опубл. 15.08.2001.

85 Тарлыков В. И., Курочкин Г. П. Номограммы для проверки устойчивости вагона с грузом // Сб. науч. тр. / НИИЖТ. – 1977. – Вып. 183: Рациональное использование вагонов и обеспечение сохранности грузов. – С. 120 – 124.

86 Тарлыков В. И., Потапов А. Г. Применение датчиков БЭС, МЭС для исследования колебаний кузовов вагонов и перемещений грузов // Сб. науч. тр. / НИИЖТ. – 1970. – Вып. 114: Обеспечение сохранности грузов при железнодорожных перевозках». С. 109 – 112.

87 Технические условия погрузки и крепления грузов и использования грузоподъемности вагонов. – М.: Трансжелдориздат, 1955. – 400 с.

88 Технические условия погрузки и крепления грузов.– М.: Транспорт, 1988. – 408 с.

89 Типовая методика определения экономической эффективности капитальных вложений // Экономическая наука, 1970. – №5. – С. 15 – 26.

90 Толипов Р. З., Трихунков М. Ф. Маркетинг и управление сохранностью перевозок // Ж.-д. трансп. – 1992. – №10. – С. 62 – 67.

91 Туранов Х. Т., Псеровская Е. Д., Туранова Г. А. Метод расчета крепления грузов // Ж.-д. транспорт. – 2001. – №1. – С. 56 – 57.

92 Управление грузовой и коммерческой работой на железнодорожном транспорте: Учебник для ВУЗов / А. А. Смехов, В. В. Повороженко, А. Т. Дерibas и др.; Под ред. А. А. Смехова. – М.: Транспорт, 1990. – 351 с.

93 Устойчивость и динамика сооружений в примерах и задачах: Учеб. пособие для строит. спец. ВУЗов / Н. И. Безухов, О. В. Лужин, Н. В. Колкунов и др. – 3-е изд., перераб. – М.: Высшая школа, 1987. – 264 с.

94 Устройство для размещения и крепления грузов на платформе: Пат. 2154587. Россия, МПК⁷ В 61 Д 3/08, В 60 Р 7/12. Частное предприятие «Фирма «Глория», Петрухин Владимир Николаевич (330068, Украина,

г. Запорожье, а/я 2653, ЧП Фирма «Глория»). №98117349/28. Заявл. 17.09.1998; Опубл. 20.08.2000.

95 Флейшман Б. А., Безродных В. М., Ушаков В. М. Улучшение организации перевозок железобетонных конструкций // Сб. науч. тр. / НИИЖТ. – 1976. – Вып. 172: Обеспечение сохранности грузов при железнодорожных перевозках. – С. 79 – 85.

96 Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование. – М.: Мир, 1975. – 534 с.

97 Хотин Б. М., Гохбом Е. Н. Устойчивость контейнеров при перевозках их на открытом подвижном составе // Сб. науч. тр. / ЛИИЖТ. – 1957. – Вып. 154: Вопросы эксплуатации подвижного состава железнодорожного транспорта. – С. 151 – 200.

98 Черногов А., Шапов В. А. Организация перевозок и безопасность движения // Ж.-д. трансп. – 1989. – №10. – С. 24 – 29.

99 Шаров В. А. Перевозки грузов в условиях рыночных отношений // Ж.-д. трансп. – 1991. – №11. – С. 15 – 18.

100 Щиголев Б. М. Математическая обработка наблюдений. – М.: Физматгиз, 1962. – 344 с.

101 Эксплуатационные испытания кассет для перевозки асбестоцементных плоских листов / Л. Л. Беспрозванный, Н. С. Войтюк, М. В. Романенко, В. И. Чехов, Э. В. Шлейдевиц // Сб. науч. тр. / НИИЖТ. – 1977. – Вып. 183: Рациональное использование вагонов и обеспечение сохранности грузов. – С. 43 – 48.

102 Яшин А. Ф., Шапов В. Д., Роцектаев В. Д. Обработка записей ускорений элементов вагона с использованием ортонормированных полиномов // Сб. науч. тр. / НИИЖТ. – 1974. – Вып. 156: Обеспечение сохранности грузов при железнодорожных перевозках. – С. 139 – 147.

103 Ladungssicherung Neue Erkenntnisse zur Sicherungstechnik Niederrhein. Podzuwein Ulrich. Verkehrsunfall und Fahrzeugtechn, 2002. 40., №1, p. 15 – 19 (Нем.).

104 Liberalisation. Que faire pene le fret? Dumont F. Vie rail et transp. 2000, №2774. – p. 16 – 18 (Фр.).

105 Neues verzursystem/ F + H: Fordern und Heben: Zeitschrift fur Vaterialflus und Automation in Production, Lager, Transport und Umschlag, 2000. 50, №11, с. 820 (Нем.).

106 Proceeding of the 8th IAVSD Symposium of Vehicles on Roads and Tracks, M. I. T., Massachusetts, 1983, August 15 – 19 (Англ.).

107 Vorrichtung zum Fixieren von Ladegut anf einer Ladefläche eines Fahrzengs: Заявка 19944538, Германия, МПК⁷ В 60 Р 7/08, В 60 R 5/00. DaimlerChrysler AG, Schumacher Josef. №19944538.9; Заявл. 17.09.1999; Опубл. 05.04.2001 (Нем.).

108 WWW.MPS.RU – офіційний сайт Російських залізниць.

109 WWW.ZSR.SK/ENGLISH – офіційний сайт Словацьких залізниць.

110 WWW.SNCF.COM – офіційний сайт Французьких залізниць.

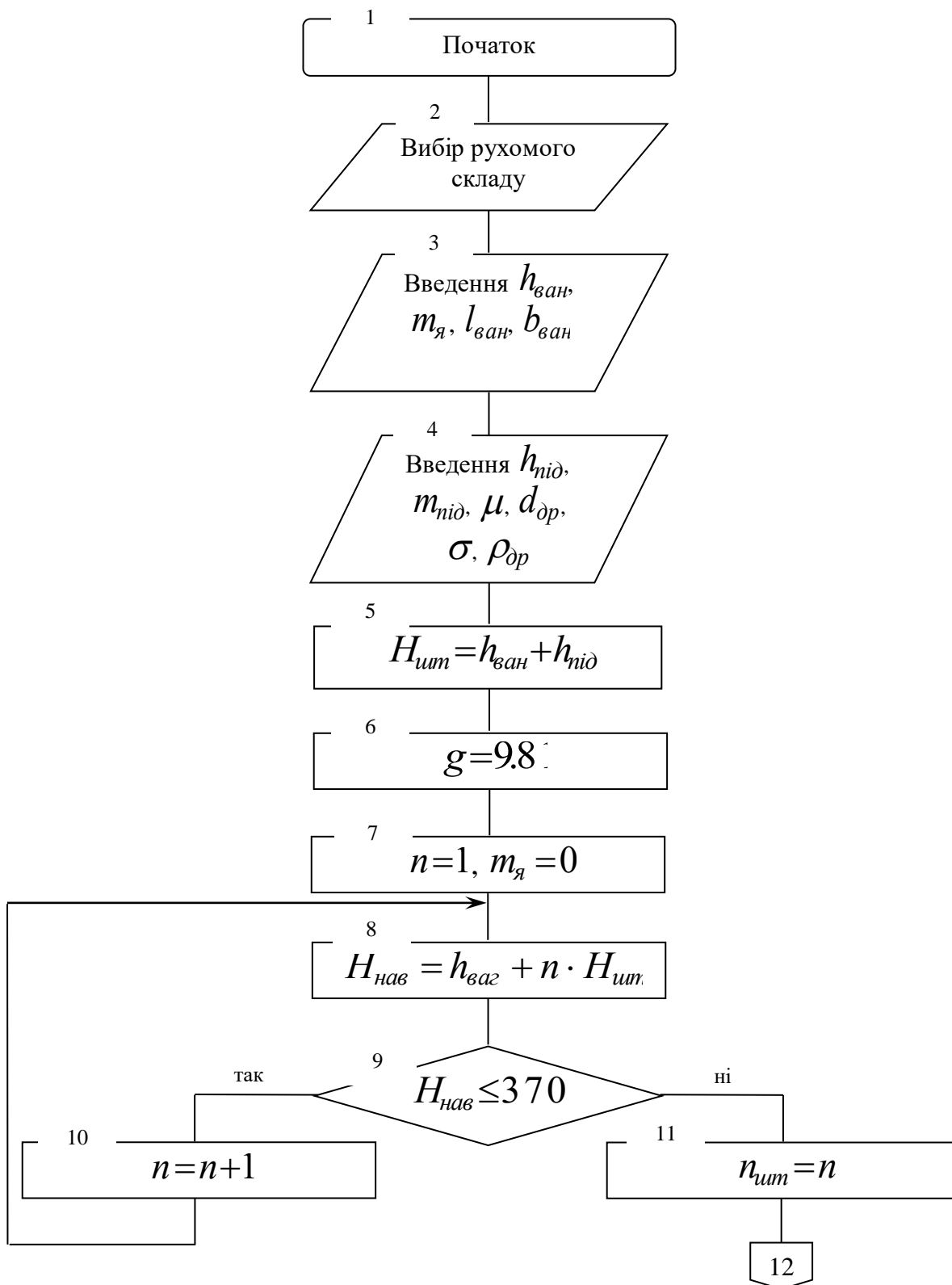
111 WWW.IRTCANADA.NET – офіційний сайт Канадських залізниць.

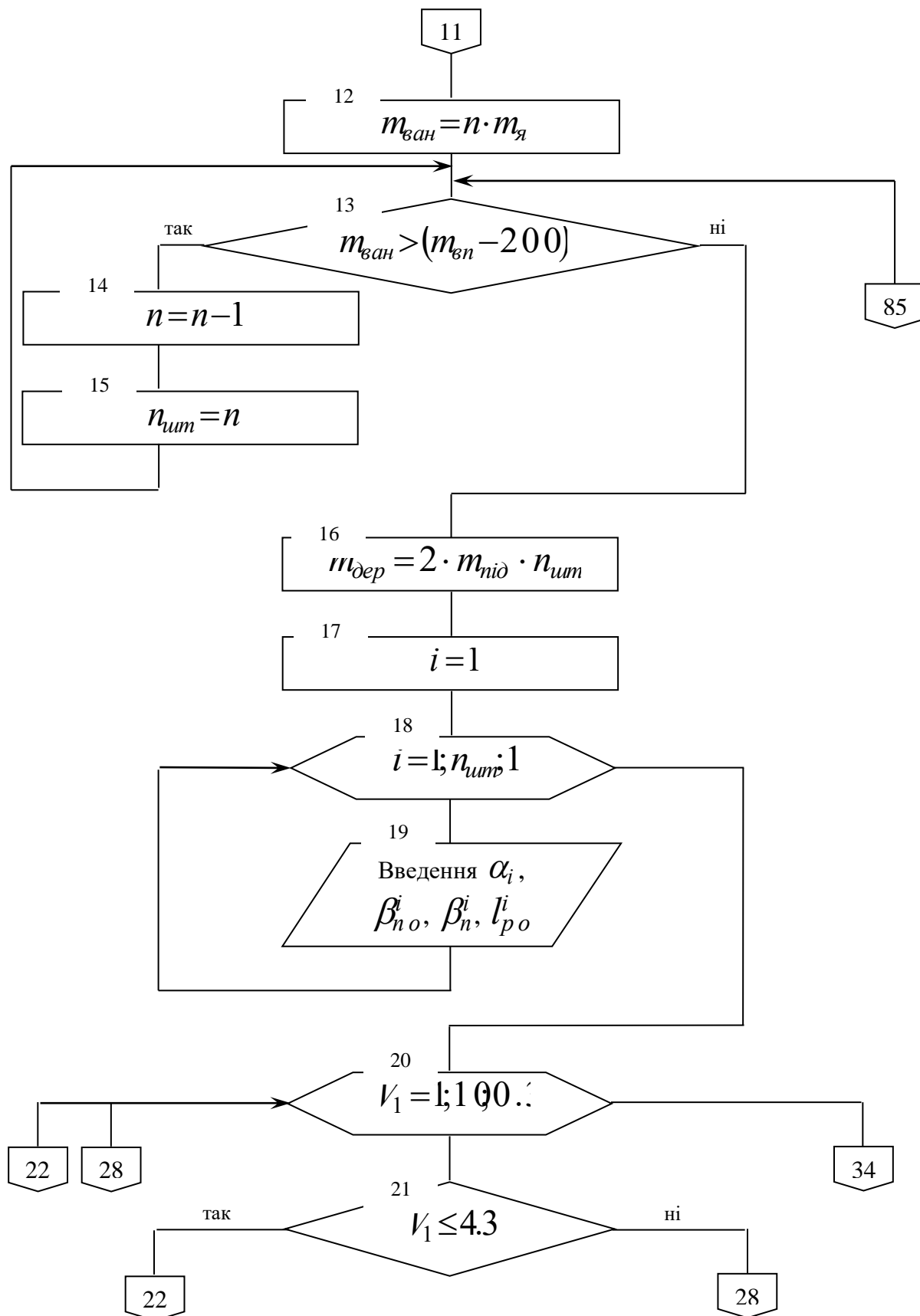
112 WWW.CIT-RAIL.ORG – сайт Міжнародного Комітету залізничного транспорту

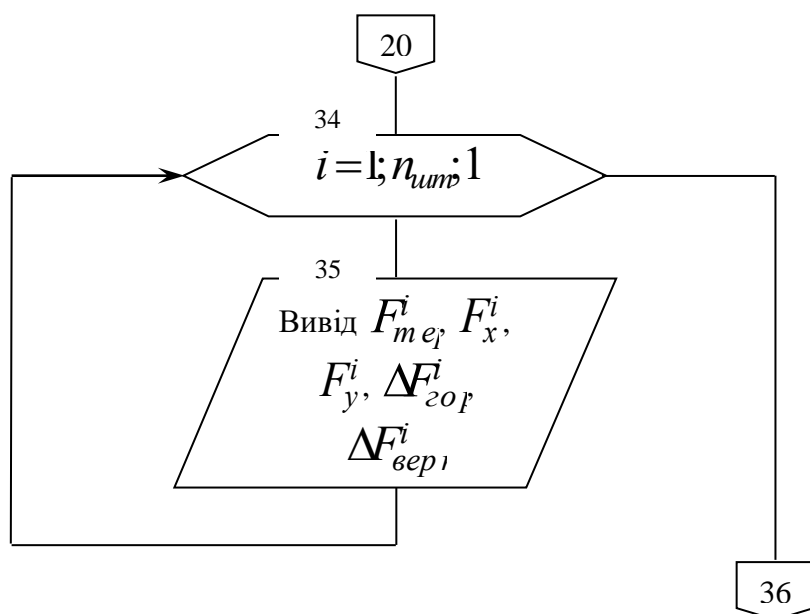
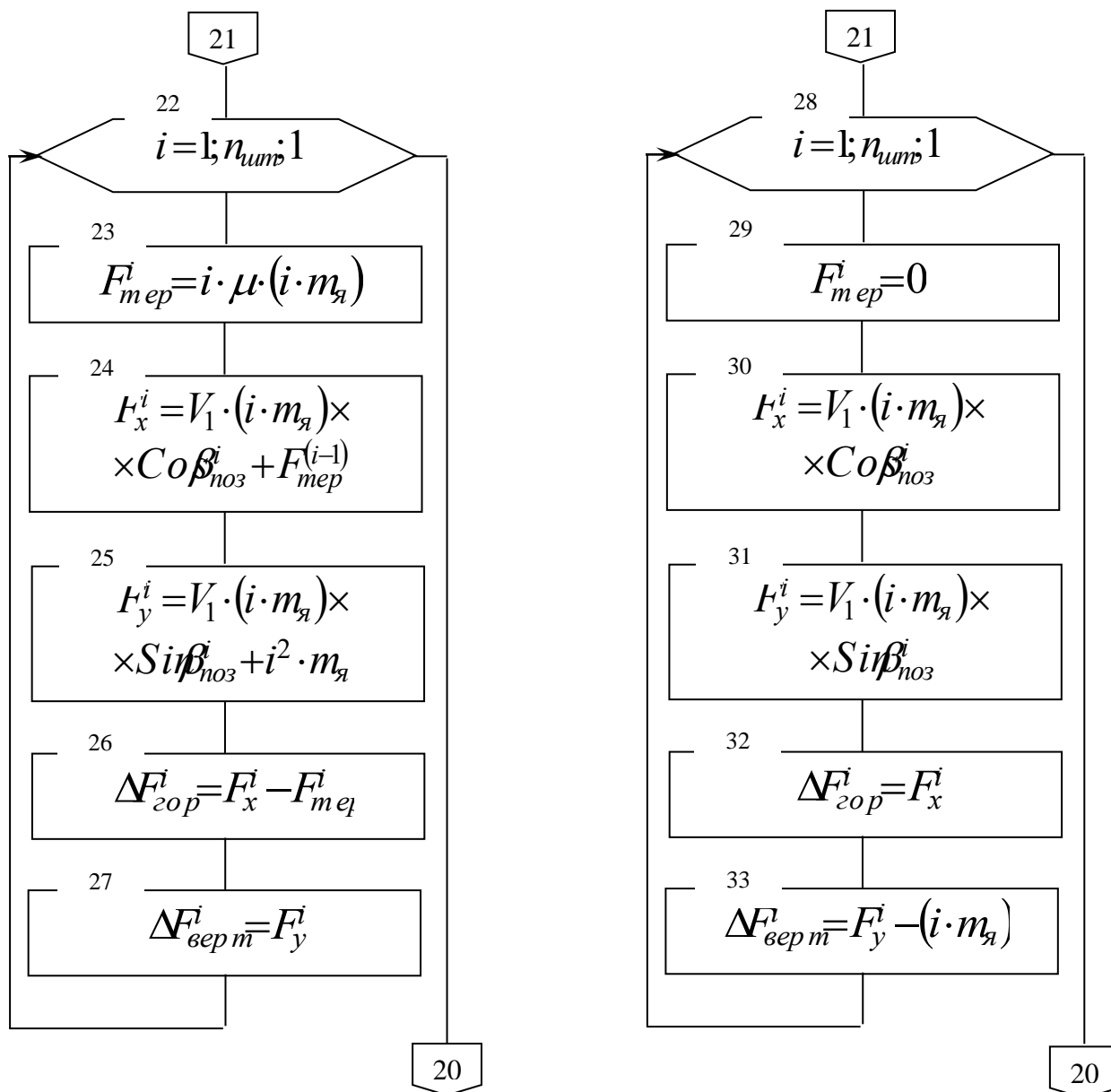
113 HTTP://VNIIZHT.RU – офіційний сайт Всеросійського науково-дослідного інституту залізничного транспорту (ВНИИЖТ)

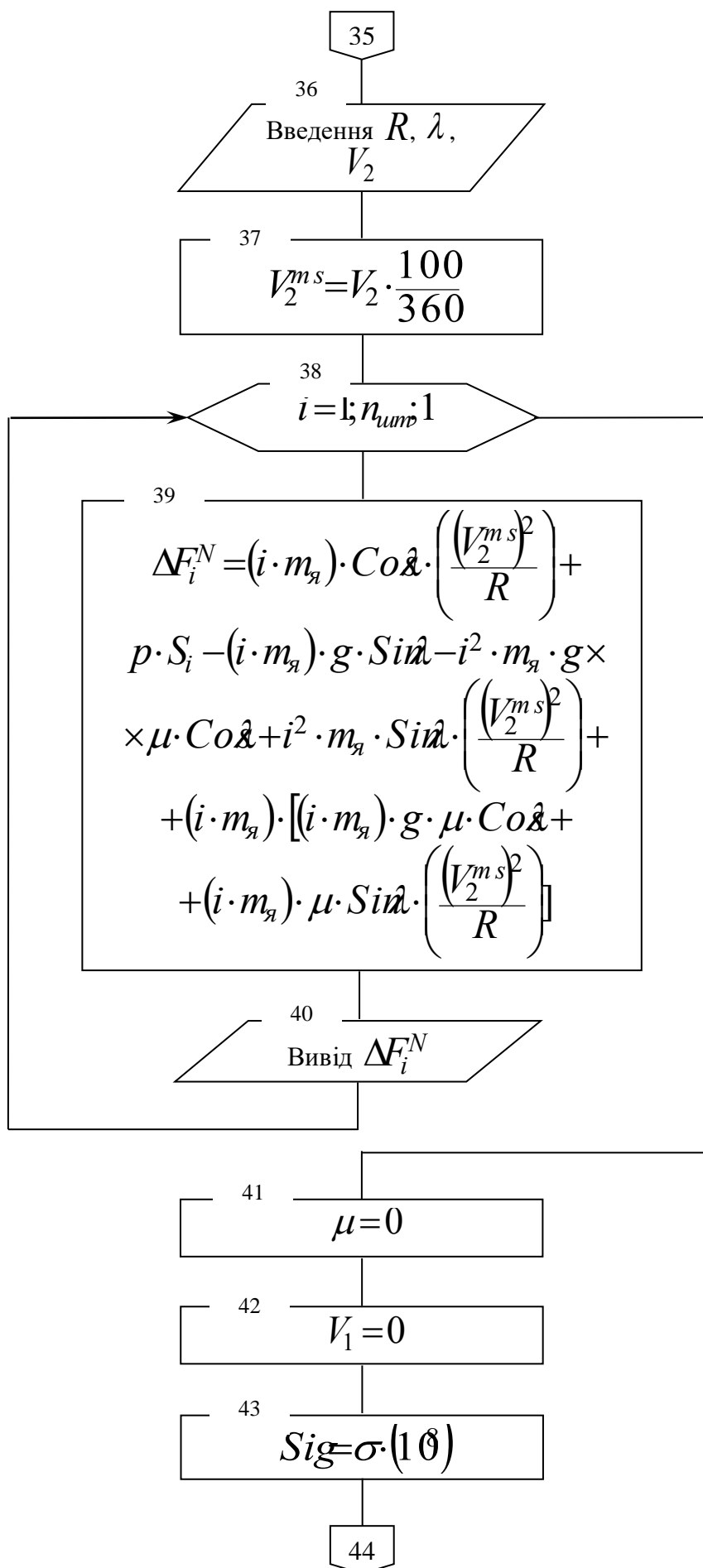
ДОДАТОК А

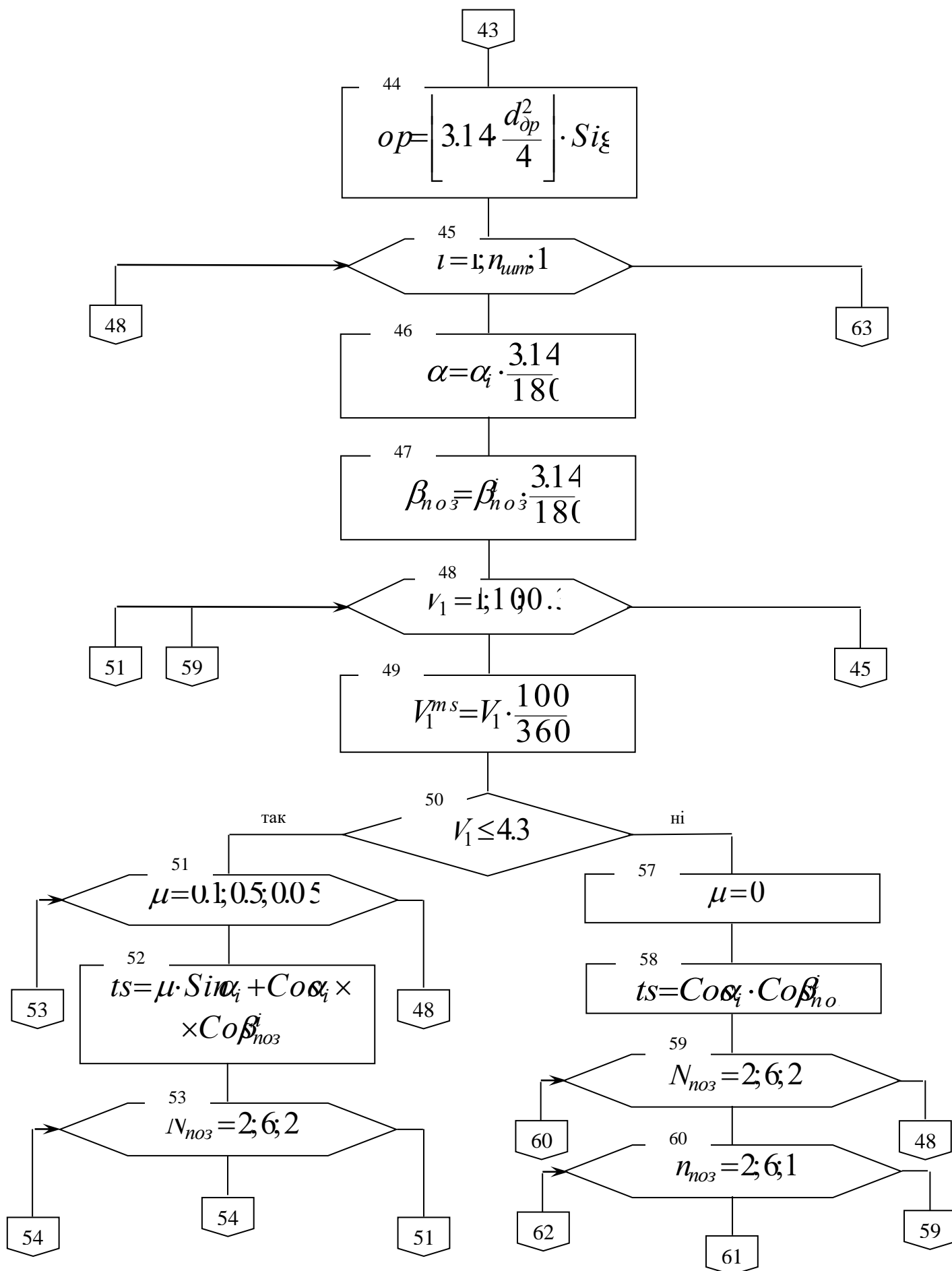
Алгоритм по визначенню способу навантаження та кріплення вантажів на відкритому рухомому складі

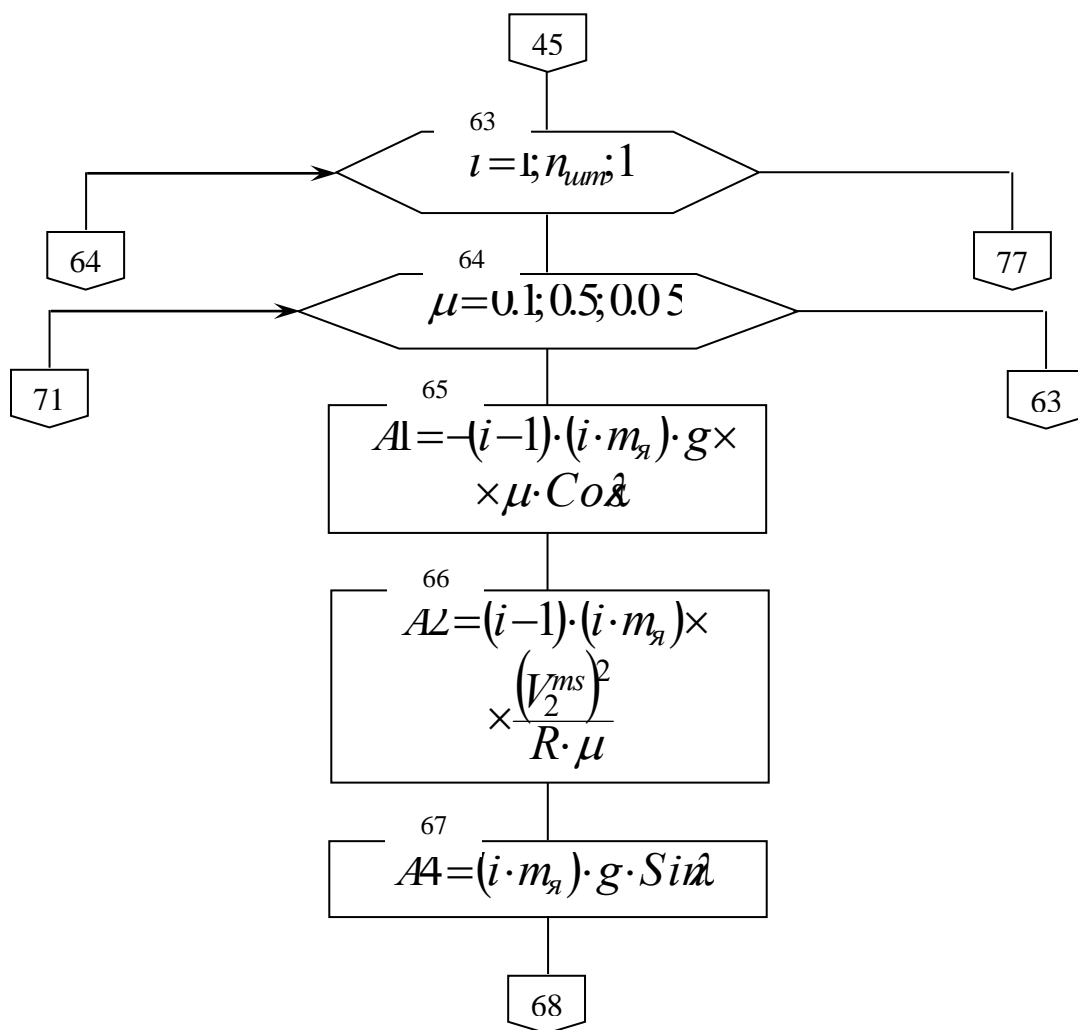
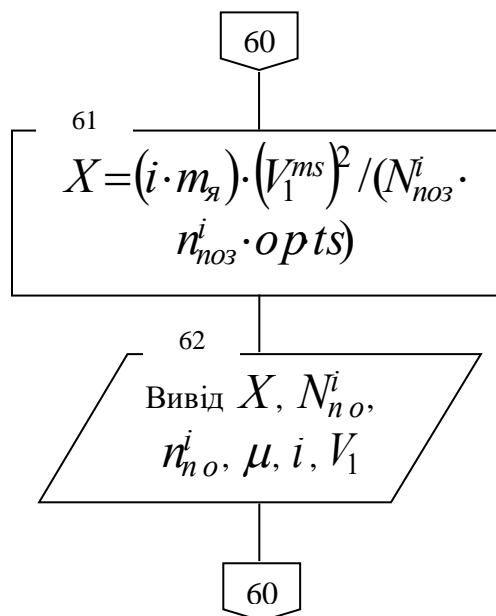
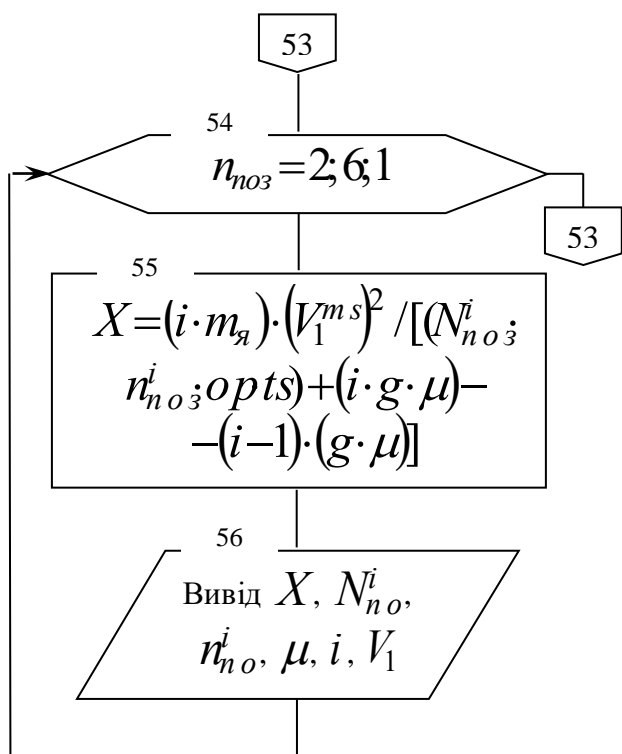


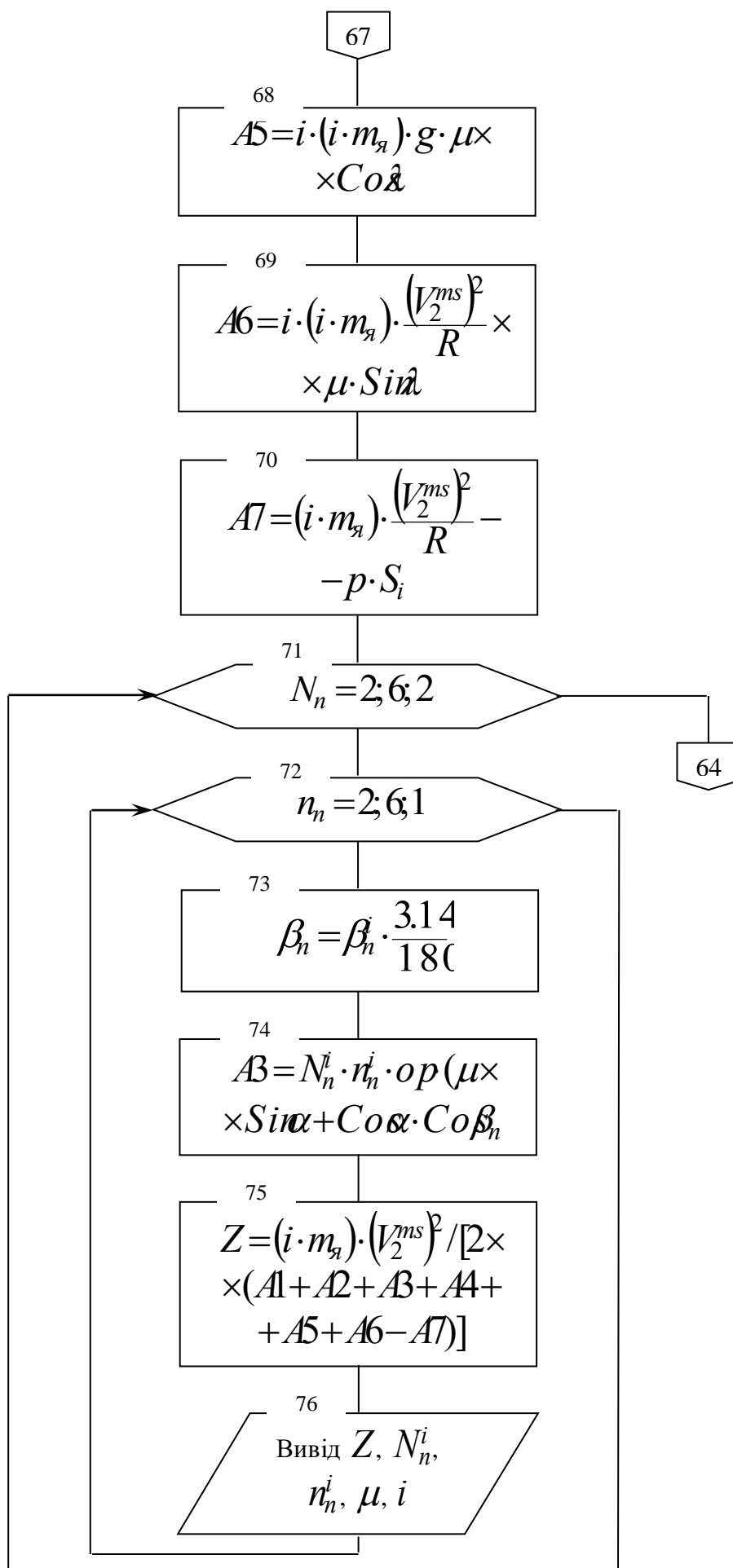


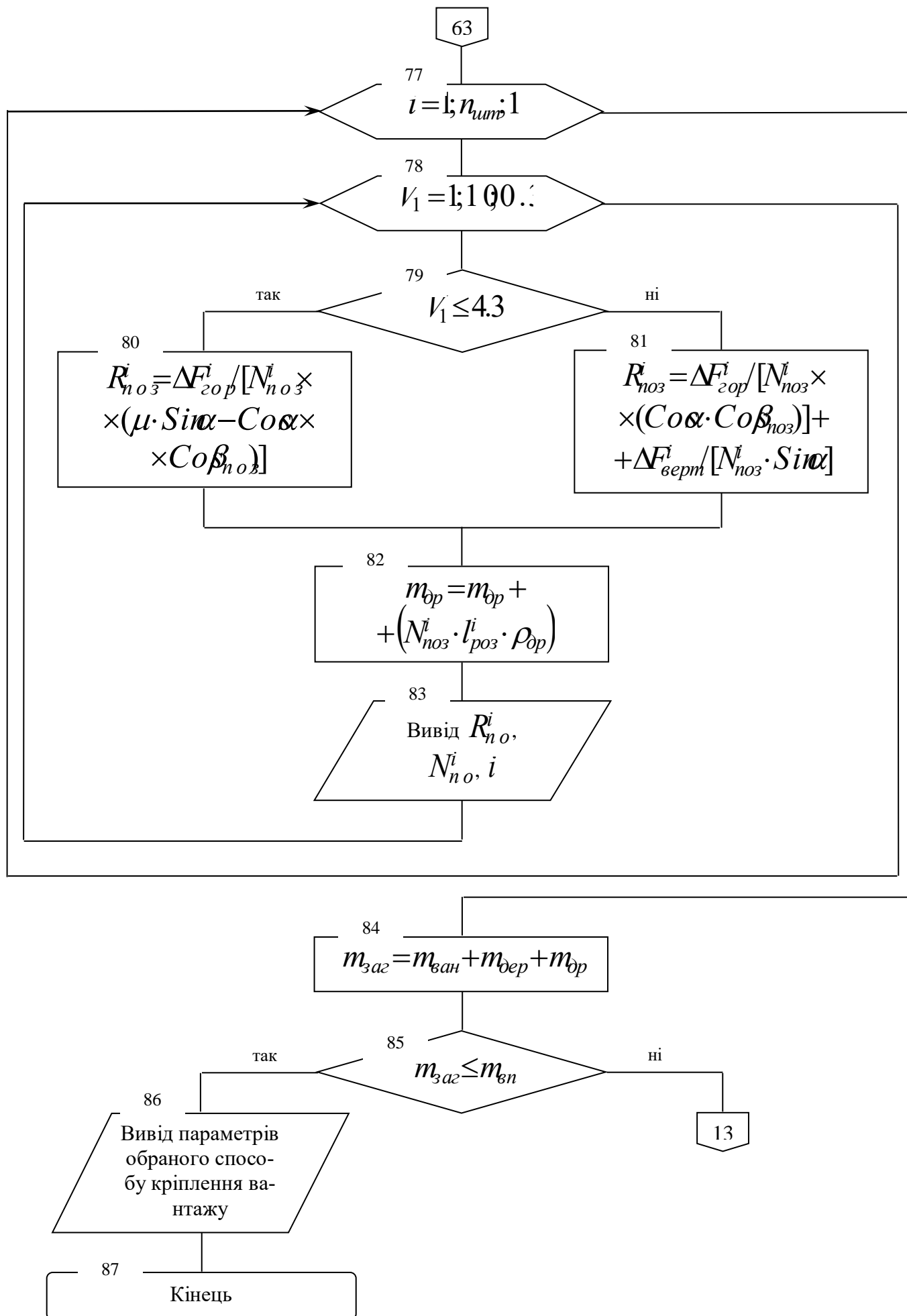












Блок 1 – початок.

Блок 2 – здійснюється введення основних характеристик рухомого складу: вантажопідйомності (m_{en}), тару, базу вагона, довжину та ширину підлоги та інші.

Блок 3 – здійснюється введення основних характеристик вантажу (плити, ярусу тощо): довжина ($l_{ван}$), ширина ($b_{ван}$), висота ($h_{ван}$), маса ($m_я$).

Блок 4 – здійснюється введення основних характеристик реквізитів кріплення: висота підкладки (h_{nid}), маса однієї підкладки (m_{nid}), маса дроту, який йде на розтяжки ($m_{др}$), межа текучості дроту (σ), діаметр дроту ($d_{др}$).

Блок 5 – визначається висота одного ярусу ($H_я$), як сума висоти однієї плити (ярусу) та підкладки.

Блок 6 – задається значення прискорення сили тяжіння (g).

Блок 7 – допоміжна перемінна n приймається рівною 1 та маса дроту, який йде на розтяжки, приймається рівною 0.

Блок 8 – визначається висота навантаження, як сума висота вагону та висоти штабелю вантажу.

Блок 9 – аналізується висота навантаження. Якщо висота навантаження менша або дорівнює 3700 мм (4000 мм – згідно діючих Технічних умов [88] за винятком 300 мм запасу), то здійснюється перехід до блоку 10, якщо ні – до блоку 11.

Блок 10 – n збільшується на 1 та здійснюється повернення до блоку 8.

Блок 11 – кількість ярусів приймається рівною n .

Блок 12 – визначається маса вантажу у вагоні ($m_{ван}$).

Блок 13 – здійснюється перевірка навантаження по масі. Якщо маса вантажу у вагоні більша, ніж вантажопідйомність вагона (m_{en}), то здійснюється перехід до блоку 14, якщо ні – до блоку 16.

Блок 14 – перемінна n зменшується на одиницю.

Блок 15 – кількість ярусів приймається рівною n та знову здійснюється перевірка навантаження по масі (перехід до блоку 13).

Блок 16 – визначається маса деревини, яка йде на підкладки ($m_{дер}$).

Блок 17 – кількість ярусів приймається рівною 1.

Блок 18 – задається цикл ярусів ($1; n_{ум}$).

Блок 19 – здійснюється введення кутів нахилу розтяжок до підлоги вагону (α), між проекціями розтяжок на горизонтальну площину та позовжньою віссю вагона (β_{noz}) та між проекціями розтяжок на горизонтальну площину та поперечною віссю вагона (β_n) для кожного ярусу та довжина кожної розтяжки ($l_{роз}$). Вибір здійснюється за допомогою програми “RAST.EXE” [68].

Блок 20 – задається цикл швидкості співудару вагонів при маневрових операціях V_1 ($1; 100,3$).

Блок 21 – аналізується швидкість V_1 . Якщо вона менша або дорівнює 4,3 км/год, то здійснюється перехід до блоку 22, якщо більша – до блоку 28.

Блок 22 – теж, що і блок 18.

Блок 23 – визначається сила тертя для i ярусу ($F_{те}^i$).

Блок 24 – визначається горизонтальна складова інерційної сили (F_x^i).

Блок 25 – визначається вертикальна складова інерційної сили (F_y^i).

Блок 26 – визначається горизонтальна складова ($\Delta F_{гор}$) сили, яку необхідно згасити кріпленням.

Блок 27 – визначається вертикальна складова ($\Delta F_{верн}$) сили, що гаситься кріпленням.

Блок 28 – теж, що і блок 22.

Блок 29 – сила тертя ($F_{те}$) приймається рівною 0.

Блок 30 – теж, що і у блоці 24.

Блок 31 – теж, що і у блоці 25.

Блок 32 – теж, що і у блоці 26.

Блок 33 – теж, що і блок 27.

Блок 34 – теж, що і у блоці 28.

Блок 35 – здійснюється вивід для кожного ярусу: сили тертя ($F_{те}$); горизонтальної (F_x) та вертикальної (F_y) складових сили інерції; горизонтальної ($\Delta F_{гор}$) та вертикальної ($\Delta F_{верн}$) складових сили, яку необхідно згасити кріпленням.

Блок 36 – здійснюється введення радіусів кривих (R), кутів узишся одної рейки колії над іншою (λ) та максимально допустимої швидкості (V_2) руху поїзда в кривих та перехідних дільницях колії.

Блок 37 – здійснюється переведення швидкості V_2 з км/год в м/с.

Блок 38 – теж, що і у блоці 34.

Блок 39 – визначення сили (ΔF^N), яку необхідно згасити кріпленням у поперечному напрямку.

Блок 40 – здійснюється вивід сили ΔF^N для кожного ярусу.

Блок 41 – коефіцієнт тертя (μ) приймається рівним 0.

Блок 42 – здійснюється обнуління швидкості співудару вагонів при виконанні маневрових операцій.

Блок 43 – здійснюється перевід значення межі текучості дроту, з якого зроблено розтяжки, у систему СІ.

Блок 44 – розраховується проміжна величина 0ρ .

Блок 45 – теж, що і блок 38.

Блок 46 – здійснюється переведення куту нахилу розтяжки до підлоги вагону (α_i) у радіани.

Блок 47 – теж саме, що і блоці 46, для куту між проекцією розтяжки на горизонтальну площину та поздовжньою віссю вагона (β_{noz}).

Блок 48 – теж, що і у блоці 20.

Блок 49 – переведення швидкості V_1 з км/год у м/с.

Блок 50 – теж, що і блок 21.

Блок 51 – задається цикл по коефіцієнту тертя ($\mu=0.1;0.5$).

Блок 52 – здійснюється розрахунок проміжної величини ts .

Блок 53 – задається цикл кількості розтяжок (N_{noz}), що закріплюють кожний ярус у поздовжньому напрямку.

Блок 54 – задається цикл кількості ниток дроту (n_{noz}) у кожній розтяжці.

Блок 55 – здійснюється розрахунок переміщення кожного ярусу (X) вантажу у поздовжньому напрямку.

Блок 56 – здійснюється вивід для кожного ярусу: переміщення (X); кількості розтяжок, які закріплюють вантаж у поздовжньому напрямку (N_{noz}) та кількості ниток дроту в кожній з них (n_{noz}); коефіцієнту тертя (μ); номеру ярусу (i) та швидкості співудару вагонів (V_1).

Блок 57 – коефіцієнт тертя приймається рівним 0.

Блок 58 – теж, що і у блоці 52.

Блок 59 – теж, що і у блоці 53.

Блок 60 – теж, що і у блоці 54.

Блок 61 – теж, що і у блоці 55.

Блок 62 – теж, що і у блоці 56.
 Блок 63 – теж, що і у блоці 45.
 Блок 64 – теж, що і у блоці 51.
 Блок 65 – здійснюється розрахунок проміжної величини, яка необхідна для розрахунку переміщення вантажу у поперечному напрямку.

Блок 66 – теж саме, що і у блоці 65.
 Блок 67 – теж саме, що і у блоці 65.
 Блок 68 – теж саме, що і у блоці 65.
 Блок 69 – теж саме, що і у блоці 65.
 Блок 70 – теж саме, що і у блоці 65.
 Блок 71 – задається цикл по кількості розтяжок (N_n), що закріплюють кожний ярус у поперечному напрямку.

Блок 72 – задається цикл по кількості ниток дроту (n_n) у кожній розтяжці.

Блок 73 – здійснюється переведення кута між проекцією розтяжки на горизонтальну площину та поперечною віссю вагона (β_n) у радіани.

Блок 74 – теж саме, що і у блоці 65.

Блок 75 – здійснюється розрахунок переміщення кожного ярусу (Z) вантажу у поперечному напрямку.

Блок 76 – здійснюється вивід для кожного ярусу: переміщення (Z); кількості розтяжок, які закріплюють вантаж у поперечному напрямку (N_n) та кількості ниток дроту в кожній з них (n_n); коефіцієнту тертя (μ); номеру ярусу (i).

Блок 77 – теж саме, що і у блоці 63.

Блок 78 – теж саме, що і у блоці 48.

Блок 79 – теж саме, що і у блоці 50.

Блок 80 – здійснюється перевірка кількості розтяжок, що закріплюють кожний ярус у поздовжньому напрямку, на допустиме зусилля (R_{noz}).

Блок 81 – теж саме, що і у блоці 80.

Блок 82 – здійснюється підсумування маси дроту, що йде на кріплення кожного ярусу.

Блок 83 – здійснюється вивід номеру ярусу (i); кількості розтяжок, що закріплюють кожний ярус у поздовжньому напрямку (N_{noz}) та зусилля у кожній розтяжці (R_{noz}).

Блок 84 – здійснюється розрахунок загальної ваги вантажу та реквізитів кріплення ($m_{заг}$).

Блок 85 – аналізується загальна вага вантажу і кріплення у вагоні. Якщо вона перевищує вантажопідйомність вагона, то здійснюється повернення до блоку 13, якщо ні – перехід до блоку 86.

Блок 86 – здійснюється вивід параметрів обраного способу кріплення вантажу.

Блок 87 – кінець.

ДОДАТОК Б
РЕЗУЛЬТАТИ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕДІНКИ
ВАНТАЖУ ТА РЕКВІЗИТІВ КРІПЛЕННЯ НА ПЕОМ

Таблиця Б.1 – Результати розрахунку сили, що діє на кожний ярус в штабелі
вантажів в поперечному напрямку

Номер ярусу	Маса ярусу, кг	Радіус кривої, м	Площа навітряної поверхні, м ²	Коефіцієнт тертя	Сила, Н
1	2	3	4	5	6
1	6000	900	50	0,4	30,10
1	6000	800	50	0,4	44,76
1	6000	1000	50	0,4	48,44
1	6000	1200	50	0,4	52,47
1	6000	1500	50	0,4	65,60
2	6000	900	50	0,4	3585,67
2	6000	800	50	0,4	3591,84
2	6000	1000	50	0,4	3613,16
2	6000	1200	50	0,4	3627,25
2	6000	1500	50	0,4	3649,46
3	6000	800	50	0,4	7138,91
3	6000	900	50	0,4	7141,24
3	6000	1000	50	0,4	7177,87
3	6000	1200	50	0,4	7202,04
3	6000	1500	50	0,4	7233,32
4	6000	800	50	0,4	10685,99
4	6000	900	50	0,4	10696,82
4	6000	1000	50	0,4	10742,58
4	6000	1200	50	0,4	10776,83

Продовження таблиці Б.1

1	2	3	4	5	6
4	6000	1500	50	0,4	10817,18
5	6000	800	50	0,4	14233,06
5	6000	900	50	0,4	14252,39
5	6000	1000	50	0,4	14307,30
5	6000	1200	50	0,4	14351,61
5	6000	1500	50	0,4	14401,04
6	6000	800	50	0,4	17780,14
6	6000	900	50	0,4	17807,96
6	6000	1000	50	0,4	17872,01
6	6000	1200	50	0,4	17926,39
6	6000	1500	50	0,4	17934,39
7	6000	800	50	0,4	21327,22
7	6000	900	50	0,4	21363,54
7	6000	1000	50	0,4	21436,72
7	6000	1200	50	0,4	21501,18
7	6000	1500	50	0,4	21568,75
8	6000	800	50	0,4	24874,29
8	6000	900	50	0,4	24919,11
8	6000	1000	50	0,4	25001,44
8	6000	1200	50	0,4	25075,96
8	6000	1500	50	0,4	25152,61

Таблиця Б.2 – Результати дослідження переміщення незакріпленого штабелю вантажу у поздовжньому напрямку

Номер ярусу	Швидкість співудару вагонів, км/год	Коефіцієнт тертя	Кількість розтяжок	Кількість ниток у одній розтяжці	Пересування вантажу, м
1	2	3	4	5	6
1	3,7	0,4	0	0	0,269
1	4,0	0,4	0	0	0,315
1	4,3	0,4	0	0	0,364
1	3,4	0,4	0	0	0,227
2	4,3	0,4	0	0	0,364
2	3,4	0,4	0	0	0,227
2	3,7	0,4	0	0	0,269
2	4,0	0,4	0	0	0,315
3	4,3	0,4	0	0	0,364
3	4,0	0,4	0	0	0,315
3	3,4	0,4	0	0	0,227
3	3,7	0,4	0	0	0,269
4	4,0	0,4	0	0	0,315
4	3,4	0,4	0	0	0,227
4	3,7	0,4	0	0	0,269
4	4,3	0,4	0	0	0,364
5	3,7	0,4	0	0	0,269
5	4	0,4	0	0	0,315
5	4,3	0,4	0	0	0,364
5	3,4	0,4	0	0	0,227
6	4,3	0,4	0	0	0,364
6	3,4	0,4	0	0	0,227

Продовження таблиці Б.2

1	2	3	4	5	6
6	3,7	0,4	0	0	0,269
6	4,0	0,4	0	0	0,315
7	4,3	0,4	0	0	0,364
7	4,0	0,4	0	0	0,315
7	3,4	0,4	0	0	0,227
7	3,7	0,4	0	0	0,269
8	4,3	0,4	0	0	0,364
8	3,4	0,4	0	0	0,227
8	3,7	0,4	0	0	0,269
8	4,0	0,4	0	0	0,315

Таблиця Б.3 – Результати дослідження переміщення закріпленого штабелю вантажу у поздовжньому напрямку

Номер ярусу	Швидкість співудару вагонів, км/год	Коефіцієнт тертя	Кількість розтяжок	Кількість ниток у одній розтяжці	Пересування вантажу, м
1	2	3	4	5	6
1,00	4	0,45	2,00	4,00	0,12
1,00	4,3	0,40	2,00	4,00	0,15
1,00	4,3	0,45	2,00	4,00	0,14
1,00	4,6	0,00	2,00	4,00	0,36
1,00	4	0,40	2,00	4,00	0,13
2,00	4,6	0,00	2,00	4,00	0,38

Продовження таблиці Б.3

1	2	3	4	5	6
2,00	4	0,40	2,00	4,00	0,13
2,00	4	0,45	2,00	4,00	0,12
2,00	4,3	0,40	2,00	4,00	0,15
2,00	4,3	0,45	2,00	4,00	0,14
3,00	4,6	0,00	2,00	4,00	0,40
3,00	4,3	0,45	2,00	4,00	0,14
3,00	4,3	0,40	2,00	4,00	0,15
3,00	4	0,40	2,00	4,00	0,13
3,00	4	0,45	2,00	4,00	0,12
4,00	4,3	0,45	2,00	4,00	0,14
4,00	4	0,40	2,00	4,00	0,13
4,00	4	0,45	2,00	4,00	0,12
4,00	4,3	0,40	2,00	4,00	0,15
4,00	4,6	0,00	2,00	4,00	0,43
5,00	4	0,45	2,00	4,00	0,12
5,00	4,3	0,40	2,00	4,00	0,15
5,00	4,3	0,45	2,00	4,00	0,14
5,00	4,6	0,00	2,00	4,00	0,49
5,00	4	0,40	2,00	4,00	0,13
6,00	4,6	0,00	2,00	4,00	0,57
6,00	4	0,40	2,00	4,00	0,14
6,00	4	0,45	2,00	4,00	0,13
6,00	4,3	0,40	2,00	4,00	0,16
6,00	4,3	0,45	2,00	4,00	0,15
7,00	4,6	0,00	2,00	4,00	0,68
7,00	4,3	0,45	2,00	4,00	0,15
7,00	4,3	0,40	2,00	4,00	0,16

Продовження таблиці Б.3

1	2	3	4	5	6
7,00	4	0,40	2,00	4,00	0,14
7,00	4	0,45	2,00	4,00	0,13
8,00	4,6	0,00	2,00	4,00	0,87
8,00	4	0,40	2,00	4,00	0,15
8,00	4	0,45	2,00	4,00	0,14
8,00	4,3	0,40	2,00	4,00	0,17
8,00	4,3	0,45	2,00	4,00	0,16
1,00	4	0,45	2,00	6,00	0,10
1,00	4,3	0,40	2,00	6,00	0,12
1,00	4,3	0,45	2,00	6,00	0,11
1,00	4,6	0,00	2,00	6,00	0,24
1,00	4	0,40	2,00	6,00	0,10
2,00	4,6	0,00	2,00	6,00	0,25
2,00	4	0,40	2,00	6,00	0,10
2,00	4	0,45	2,00	6,00	0,10
2,00	4,3	0,40	2,00	6,00	0,12
2,00	4,3	0,45	2,00	6,00	0,11
3,00	4,6	0,00	2,00	6,00	0,27
3,00	4,3	0,45	2,00	6,00	0,11
3,00	4,3	0,40	2,00	6,00	0,12
3,00	4	0,40	2,00	6,00	0,10
3,00	4	0,45	2,00	6,00	0,10
4,00	4,3	0,45	2,00	6,00	0,11
4,00	4	0,40	2,00	6,00	0,10
4,00	4	0,45	2,00	6,00	0,10
4,00	4,3	0,40	2,00	6,00	0,12

Продовження таблиці Б.3

1	2	3	4	5	6
4,00	4,6	0,00	2,00	6,00	0,29
5,00	4	0,45	2,00	6,00	0,10
5,00	4,3	0,40	2,00	6,00	0,12
5,00	4,3	0,45	2,00	6,00	0,11
5,00	4,6	0,00	2,00	6,00	0,33
5,00	4	0,40	2,00	6,00	0,10
6,00	4,6	0,00	2,00	6,00	0,38
6,00	4	0,40	2,00	6,00	0,11
6,00	4	0,45	2,00	6,00	0,10
6,00	4,3	0,40	2,00	6,00	0,12
6,00	4,3	0,45	2,00	6,00	0,12
7,00	4,6	0,00	2,00	6,00	0,45
7,00	4,3	0,45	2,00	6,00	0,12
7,00	4,3	0,40	2,00	6,00	0,13
7,00	4	0,40	2,00	6,00	0,11
7,00	4	0,45	2,00	6,00	0,10
8,00	4,6	0,00	2,00	6,00	0,58
8,00	4	0,40	2,00	6,00	0,12
8,00	4	0,45	2,00	6,00	0,11
8,00	4,3	0,40	2,00	6,00	0,14
8,00	4,3	0,45	2,00	6,00	0,12
1,00	4	0,45	4,00	4,00	0,08
1,00	4,3	0,40	4,00	4,00	0,10
1,00	4,3	0,45	4,00	4,00	0,09
1,00	4,6	0,00	4,00	4,00	0,18
1,00	4	0,40	4,00	4,00	0,08

Продовження таблиці Б.3

1	2	3	4	5	6
2,00	4,6	0,00	4,00	4,00	0,19
2,00	4	0,40	4,00	4,00	0,08
2,00	4	0,45	4,00	4,00	0,08
2,00	4,3	0,40	4,00	4,00	0,10
2,00	4,3	0,45	4,00	4,00	0,09
3,00	4,6	0,00	4,00	4,00	0,20
3,00	4,3	0,45	4,00	4,00	0,09
3,00	4,3	0,40	4,00	4,00	0,10
3,00	4	0,40	4,00	4,00	0,08
3,00	4	0,45	4,00	4,00	0,08
4,00	4,3	0,45	4,00	4,00	0,09
4,00	4	0,40	4,00	4,00	0,08
4,00	4	0,45	4,00	4,00	0,08
4,00	4,3	0,40	4,00	4,00	0,10
4,00	4,6	0,00	4,00	4,00	0,22
5,00	4	0,45	4,00	4,00	0,08
5,00	4,3	0,40	4,00	4,00	0,10
5,00	4,3	0,45	4,00	4,00	0,09
5,00	4,6	0,00	4,00	4,00	0,24
5,00	4	0,40	4,00	4,00	0,09
6,00	4,6	0,00	4,00	4,00	0,28
6,00	4	0,40	4,00	4,00	0,09
6,00	4	0,45	4,00	4,00	0,08
6,00	4,3	0,40	4,00	4,00	0,10
6,00	4,3	0,45	4,00	4,00	0,09
7,00	4,6	0,00	4,00	4,00	0,34

Продовження таблиці Б.3

1	2	3	4	5	6
7,00	4,3	0,45	4,00	4,00	0,10
7,00	4,3	0,40	4,00	4,00	0,11
7,00	4	0,40	4,00	4,00	0,09
7,00	4	0,45	4,00	4,00	0,09
8,00	4,6	0,00	4,00	4,00	0,43
8,00	4	0,40	4,00	4,00	0,10
8,00	4	0,45	4,00	4,00	0,09
8,00	4,3	0,40	4,00	4,00	0,11
8,00	4,3	0,45	4,00	4,00	0,10

Таблиця Б.4 – Результати дослідження переміщення незакріпленого штабелю вантажу у поперечному напрямку

Номер ярусу	Коефіцієнт тертя	Кількість розтяжок	Кількість ниток у одній розтяжці	Пересування вантажу, м
1	2	3	4	5
1	0,250	0	0	0,02613
1	0,300	0	0	0,02178
1	0,350	0	0	0,01867
1	0,400	0	0	0,01633
1	0,450	0	0	0,01452
1	0,500	0	0	0,01307
2	0,250	0	0	0,02869
2	0,300	0	0	0,02391

Продовження таблиці Б.4

1	2	3	4	5
2	0,350	0	0	0,02049
2	0,400	0	0	0,01793
2	0,450	0	0	0,01594
2	0,500	0	0	0,01434
3	0,250	0	0	0,03179
3	0,300	0	0	0,02649
3	0,350	0	0	0,02271
3	0,400	0	0	0,01987
3	0,450	0	0	0,01766
3	0,500	0	0	0,01590
4	0,250	0	0	0,03565
4	0,300	0	0	0,02971
4	0,350	0	0	0,02546
4	0,400	0	0	0,02228
4	0,450	0	0	0,01980
4	0,500	0	0	0,01782
5	0,250	0	0	0,04057
5	0,300	0	0	0,03381
5	0,350	0	0	0,02898
5	0,400	0	0	0,02536
5	0,450	0	0	0,02254
5	0,500	0	0	0,02029
6	0,250	0	0	0,04707
6	0,300	0	0	0,03923
6	0,350	0	0	0,03362
6	0,400	0	0	0,02942

Продовження таблиці Б.4

1	2	3	4	5
6	0,450	0	0	0,02615
6	0,500	0	0	0,02354
7	0,250	0	0	0,05605
7	0,300	0	0	0,04671
7	0,350	0	0	0,04004
7	0,400	0	0	0,03503
7	0,450	0	0	0,03114
7	0,500	0	0	0,02803
8	0,250	0	0	0,06927
8	0,300	0	0	0,05772
8	0,350	0	0	0,04948
8	0,400	0	0	0,04329
8	0,450	0	0	0,03848
8	0,500	0	0	0,03463

Таблиця Б.5 – Результати дослідження переміщення закріпленого штабелю вантажу у поперечному напрямку

Номер ярусу	Коефіцієнт тертя	Кількість розтяжок	Кількість ниток у одній розтяжці	Пересування вантажу, м
1	2	3	4	5
1	0,250	2	4	0,02613
1	0,350	2	4	0,01866
1	0,400	2	4	0,01633
1	0,450	2	4	0,01452

Продовження таблиці Б.5

1	2	3	4	5
1	0,500	2	4	0,01306
2	0,250	2	4	0,02868
2	0,350	2	4	0,02048
2	0,400	2	4	0,01792
2	0,450	2	4	0,01593
2	0,500	2	4	0,01434
3	0,250	2	4	0,03178
3	0,350	2	4	0,02270
3	0,400	2	4	0,01986
3	0,450	2	4	0,01766
3	0,500	2	4	0,01589
4	0,250	2	4	0,03563
4	0,300	2	4	0,02969
4	0,350	2	4	0,02545
4	0,400	2	4	0,02227
4	0,450	2	4	0,01980
4	0,500	2	4	0,01782
5	0,250	2	4	0,04055
5	0,350	2	4	0,02897
5	0,400	2	4	0,02535
5	0,450	2	4	0,02253
5	0,500	2	4	0,02028
6	0,250	2	4	0,04705
6	0,350	2	4	0,03361
6	0,400	2	4	0,02941
6	0,450	2	4	0,02614

Продовження таблиці Б.5

1	2	3	4	5
6	0,500	2	4	0,02353
7	0,250	2	4	0,05602
7	0,350	2	4	0,04002
7	0,400	2	4	0,03502
7	0,450	2	4	0,03113
7	0,500	2	4	0,02801
8	0,250	2	4	0,06922
8	0,350	2	4	0,04945
8	0,400	2	4	0,04327
8	0,450	2	4	0,03846
8	0,500	2	4	0,03462
1	0,250	2	6	0,00026
1	0,350	2	6	0,00019
1	0,400	2	6	0,00016
1	0,450	2	6	0,00015
1	0,500	2	6	0,00013
2	0,250	2	6	0,00029
2	0,350	2	6	0,00020
2	0,400	2	6	0,00018
2	0,450	2	6	0,00016
2	0,500	2	6	0,00014
3	0,250	2	6	0,00032
3	0,350	2	6	0,00023
3	0,400	2	6	0,00020
3	0,450	2	6	0,00018
3	0,500	2	6	0,00016

Продовження таблиці Б.5

1	2	3	4	5
4	0,250	2	6	0,00036
4	0,350	2	6	0,00025
4	0,400	2	6	0,00022
4	0,450	2	6	0,00020
4	0,500	2	6	0,00018
5	0,250	2	6	0,00041
5	0,350	2	6	0,00029
5	0,400	2	6	0,00025
5	0,450	2	6	0,00023
5	0,500	2	6	0,00020
6	0,250	2	6	0,00047
6	0,350	2	6	0,00034
6	0,400	2	6	0,00029
6	0,450	2	6	0,00026
6	0,500	2	6	0,00024
7	0,250	2	6	0,00056
7	0,350	2	6	0,00040
7	0,400	2	6	0,00035
7	0,450	2	6	0,00031
7	0,500	2	6	0,00028
8	0,250	2	6	0,00069
8	0,350	2	6	0,00049
8	0,400	2	6	0,00043
8	0,450	2	6	0,00038
8	0,500	2	6	0,00035