

УДК 62-529

DOI: 10.15587/2312-8372.2018.127930

ЗМЕНШЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ НА МЕТРОПОЛІТЕНІ І ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

Мельник В. М., Карачун В. В., Шибецький В. Ю., Фесенко С. В., Шафаренко М. В.

У роботі поставлена задача забезпечення гарантованої безпеки перевозу пасажирів в поїздах метрополітену. За об'єкт проведених авторами досліджень обрано процес взаємодії прибуваючого з великою швидкістю на станцію електропотягу метрополітену з пасажиром, що нерухомо очікує, або, який переміщується до краю платформи внаслідок штовхання тісної маси пасажирів. Показано, що значне тертя поверхні підборів взуття пасажирів та тертя верхньої частини тіла о бічну поверхню вагона обмежують можливість переміщення людини в просторі. Таким чином, в найпростішому випадку, верхня частина і кінцівки ніг будуть формувати нерухому ось обертання. Але потужний удар цю ось zdeформує і направить таким чином, що вона буде рухатися по поверхні, що є сукупністю миттєво обертальних рухів. І, таким чином, миттєва ось обертання описує конічну поверхню з вершиною, співпадаючою з підборами взуття.

Виявлено, що жорстко пов'язавши з людиною систему координат хуз можна визначити три кути Ейлера повороту відносно миттєвої осі і побудувати таблицю напрямних косинусів, які дозволяють визначити кінематичні характеристики примусового тіла людини відносно осей, зв'язаних з ним – $\omega_x \omega_y \omega_z$.

Результати макетних досліджень підтвердили думку стосовно доцільності заміни поступального руху бічної поверхні вагона на складний рух, додатково обладнаної на бічній поверхні вагона огорожувальної стрічки безпеки. Ця стрічка рухається в протилежний до напрямку вагона бік, але з тією за величиною швидкістю. Синтез цих двох рухів дає ефект появи нерухомої частини стрічки безпеки відносно пасажирів, що стоїть на платформі, і, отже, максимально підносить певність і надійність перевезення пасажирів електропоїздами підземки.

Лабораторний макет повністю підтвердив прогнозуємий ефект відсутності небезпеки травмування пасажирів і ступінь присутності технологічного ризику в експлуатаційних умовах.

Ключові слова: *стрічка безпеки, потяг метрополітену, технологічні ризики, обернений фізичний маятник.*

1. Вступ

Важко уявити сьогодення життя людини у великих містах без послуг «підземки» та залізничного транспорту. Метрополітен можна без

перебільшення назвати найпопулярнішим видом транспорту в м. Києві (Україна).

За день столична підземка перевозить до півтора мільйонів пасажирів. Для більшості киян вона залишається найшвидшим і надійним способом дістатися в ту чи іншу точку міста. Однак в плані зручності і безпеки українське метро злегка програє своїм побратимам з більш розвинених країн. Найбільш завантаженою, в даний час, є ст. м. Лісова (м. Київ, Україна).

У Києві не рідкісні випадки падіння людей на рейки – будь це спроба самогубства або ж нещасний випадок. Коли таке відбувається, на всій лінії зупиняється рух поїздів, багато спізнюються на роботу, на станціях скупчуються величезні натовпи, які потім перетікають в вагони. В Токійському метро (Японія) уздовж перону встановлені спеціальні огорожі, які запобігають падінню людей на рейки.

При вході на перон станції та на виході з неї потрібно бути обережними зі скляними дверима, які відкриваються в обидві сторони. Поривом повітря або через недбалість людини, яка йде попереду вас, можна травмувати кінцівки рук і голову.

Найбільшу небезпеку для пасажирів на платформі становить прибуваючий до станції потяг, який рухається потужно з великою швидкістю. Коли поїзд підходить до станції, він жене перед собою таку масу повітря, що «вітер» на пероні починається ще до того, як ви побачите вогні потягу в тунелі праворуч від вас. Таким чином, виникає значний технологічний ризик залізничний технологій, обумовлений випадковими зчепленнями поверхні одягу пасажирів на краю платформи з бічною поверхнею кузова вагона. Особлива небезпека має місце у часи «пік», коли станція перенасичена пасажирами і з'являється небезпека штовханини біля краю платформи (рис. 1). Це може призвести до вимушеного зіткнення людини з швидкохідною бічною поверхнею вагона. Також, слідуючим за цим, відбувається втягування людини під колеса у проміжок платформи. Це відбувається внаслідок значного зчеплення рухомої поверхні одягу людини з рухомою поверхнею кузова вагона, а також, нерухомими підборами взуття людини з поверхнею платформи.

За офіційною інформацією столичного метрополітену, сьогодні на всіх перевантажених лініях досягнуто мінімально можливий інтервал, який становить 1,5 хв. Зробити його ще менше неможливо – це небезпечно, оскільки може призвести до аварій.



Рис. 1. Тиснява в години пік на перонах метрополітену

За 2017 рік у київському метро сталося 18 випадків падіння людей на рейки. Двоє людей загинули. У 2017 році київським метрополітемом скористалися півмільярда пасажирів.

Як відомо, сама інфраструктура станцій не змінюється. Старі гілки метрополітену – так звані «Типові колонні станції ХХ століття» в найближчі 20 років, перебудовуватися не будуть [1]. А кількість людинопотоків на платформі буде постійно збільшуватися. Це, врешті-решт, буде провокувати постійну тисняву на пероні метрополітену. Все це буде призводити до травматизму або нещасних випадків. І запобіжних заходів, які зараз є, – буде недостатньо, а саме:

- правила поведінки в метрополітені;
- обмежувальні жовті смуги на підлозі перону (рис. 2);
- гучний гудок потяга, який інформує про прибуття поїзда на перон.



Рис. 2. Жовті попереджувальні смуги

Все це звичайно призводить до думки, щодо необхідності застосовувати нові методи і технології на перонах метрополітену та залізниці.

У світовій практиці стали застосовувати нові заходи захисту при під'їжджаючому складі потягу метрополітену, де застосовуються швидкісні поїзди, які експлуатуються зі швидкістю 100 км/год. Це станції метро закритого типу (також званий горизонтальний ліфт і станції з подвійними дверима) в Санкт-Петербурзькому (Росія), Пекінському метрополітені (Китай) [2]. Недоліками таких підходів захисту є: різке обмеження пропускної здатності всієї лінії, потреба більш точної зупинки щодо дверей, стоянка на станції подовжується на 15–20 с.

Одним з таких перспективних напрямків захисту пасажирів на пероні метрополітену може бути «стрічка безпеки», яка створить буферну зону між вагоном метрополітену і пасажиром. Таким чином, буде усунуто можливість зіткнення пасажирів і бічної частини вагона метрополітену, який швидко рухається (швидкість від 60–80 км/ч). Все це виключить закручування нерухомої людини на платформі і втягування її під колеса.

Нерухомий пасажир на платформі буде мати перед своїми очима замість рухомої бічної поверхні кузова вагона нерухому поверхню стрічки безпеки і, таким чином, усувається технологічний ризик залізничного потягу.

Актуальність досліджень, безумовно, полягає в тому, щоб винайти такі технічні рішення, за яких технологічний ризик на підземному шляхопроводі, тобто метрополітені був би зведений до мінімуму.

2. Об'єкт досліджень та його технологічний аудит

Об'єкт досліджень – процес виникнення і розвитку технологічних ризиків перевозу пасажирів на транспорті.

Потужна рушійна зчіпка в вагоні метрополітену, що з великою швидкістю з'являється на станції, несе неабияку небезпеку травмування пасажирів, які в наслідок неувважності та скупчення великої кількості людей, особливо з габаритним речами, породжують штовханину біля краю платформи. Штовханина, як правило, приводить до торкання пасажирів поверхні вагона. Значне тертя підборів взуття людини з поверхнею платформи та удар вагона по верхнім кінцівкам людини слугують причиною виникнення примусового обертання тіла навколо нерухомої точки – підборів взуття. Якщо до цього додати ще намагання людини утриматись і не впасти, виникає додатковий рух верхніх і нижніх кінцівок, які не тільки змінюють момент інерції відносно миттєвої осі обертання, але і штовхають сусідів на пероні, викликаючи сум'яття пасажирів. Таке явище особливо небезпечне в часи пік та на станціях, які з'єднуються з залізницею та великими підприємствами, де є значна маса людей. Таким чином, велика кількість можливих переміщень кожного з пасажирів формує непрогнозуємий стан великої маси людей і слугує прямою небезпекою не тільки травмуванню, але і життю людей.

Одним з найбільш проблемних місць постає необхідність забезпечення максимальної рівності швидкості переносного (корпуса вагона) руху та відносного руху (стрічки безпеки). Нарешті, слід забезпечити безумовну відповідність навігаційної карти напрямку руху стрічки безпеки відносно вагона коли вихід на перон змінюється на другий бік потягу.

3. Мета і задачі досліджень

Метою дослідження є зменшення технологічних ризиків транспортування пасажиропотоків в міському та залізничному транспорті.

Задачі досліджень полягають у наступному:

1. Провести аналіз механізму виникнення явищ, які породжують небезпеку травмування пасажирів, що знаходяться на платформі в очікуванні потягу.
2. Побудувати розрахункові моделі виникнення технологічних ризиків на пасажирському транспорті в експлуатаційних умовах.
3. Представити технічну реалізацію усунення причин небезпеки травмування пасажирів в очікуванні прибуваючого (або від'їжджаючого) залізничного транспорту на пасажирській платформі підземної або наземної дороги.

4. Дослідження існуючих рішень проблеми

Все більше приділяють уваги питаннями безпеки, у зв'язку із ростом швидкості електропоїздів та щільністю перевозок на залізничному транспорті та в метрополітені, зокрема, у великих містах багатьох країн. Велика кількість пасажиропотоків примушує працівників залізниці шукати нові шляхи технічного забезпечення безпеки руху, зокрема, зменшення травмування

пасажирів чи інших нещасних випадків. Відомі, на теперішній час, технічні заходи у вигляді фізичних бар'єрів (PSD), які не здатні, в повній мірі, огородити пасажирів від спроб покінчити життя самогубством [3]. Оцінка ступеня імовірності нещасних випадків самогубства дозволяє провести оцінку ефективності засобів, з одного боку, та окреслити найбільш небезпечні ділянки підземки [4]. В стадії пошуку засоби штучного поділу за деякими принципами (вікових даних, статевих та ін.) для визначення ефективності того чи іншого засобу. Цей принцип дозволить також оцінити ступінь локальності натовпу на переповненому пероні [5]. Розглядається питання поняття масового пасажиропотоку в контексті проблеми безпеки та пропозиціями щодо заходів попередження і реагування на такі явища [6]. Приймаючи до уваги сумісність і простоту програмного забезпечення Microsoft Access 2010, влада Шанхаю використовує її для всебічного і ретельного проектування бази даних інцидентів з адаптаційної базою метрополітену MOID [7]. З метою раннього попередження про ризик і підвищення рівня управління безпекою в метро пропонується система диспетчеризації системи ведення журналу помилок і аналізу даних (DFLMIS), яка містить майже всі види аварій, що сталися в ході роботи Metro [8].

Ідентифікація ризиків є важливим завданням в управлінні ризиками метро і підземного транспорту. Для цього створена система ідентифікації ризику безпеки (SRIS) для безпеки пересування потягів метрополітену щодо контролю та раннього попередження динамічних ризиків [9]. Процес динамічної оптимізації маршруту і управління потоком пасажирів та динамічної оптимізаційної задачі, яка зводить до мінімуму відхилення від розкладу, і максимізує безпеку руху в проходах по лініях метро наводиться в роботі [10]. Проводилось моделювання та лабораторні випробування впливу управлінням пішохідним рухом на посадку і висадку пасажирів на станціях метро. Дослідження проводилися за допомогою мікросімулятора пішохідного руху (студія LEGION) і експериментів в Лабораторії динамічних досліджень людини (HDL) Університету Лос-Анджелеса в Сантьяго-де-Чилі. Були отримані критерії для управління пішохідним рухом на платформі і дверях метрополітену [11]. У [12] наводяться основні дані відносно прогресу в управлінні безпеки підземної техніки в Китаї за останнє десятиліття, а саме:

- встановлення законів і правил з управління ризиками безпеки підземної техніки;
- впровадження плану управління безпеки;
- створення системи підтримки прийняття рішень для управління ризиками і раннього попередження на основі інформаційних технологій;
- посилення дослідження з управління безпеки, прогнозування та профілактики.

5. Методи досліджень

Запропоноване технічне рішення ліквідує небезпеку травмування пасажирів на швидкісному електротранспорті метрополітену та залізниці і

може бути використаним для боротьби з технологічними ризиками на транспорті.

Відома конструкція вагона електропоїзда EP 2 (Росія), який містить суцільнозварний несучий кузов, бічні, торцеві стінки і дах якого обшито сталевим гофрованим листом. Салон вагона обладнаний системою вентиляції із двома вентиляційними агрегатами, установленими в кінцевих частинах у горищних приміщеннях тамбурів. Зовнішні стінки кузова виконані з гофрами. Бічні стіни кузова з кожної сторони мають по чотири прорізи для обладнання розсувних дверей [13]. До недоліків цього технічного рішення вагонів електропоїзда відноситься висока ступінь небезпеки для пасажирів, що очікують поїзд на пероні, особливо для тих, які знаходяться поблизу края платформи.

Відома також конструкція серійного проміжного вагона метрополітену, мод. 81-714,5 (СРСР) у вигляді суцільнозварної конструкції з несучим кузовом, виконаним по типу замкнутої оболонки посиленої поздовжніми і поперечними балками. Кузов вагона має вирізи в бічних стінках під двері і вікна, та у даху під забірники зовнішнього повітря [14].

Недоліком цього технічного рішення постає підвищена небезпека з боку швидкісного електропоїзда для пасажирів, що знаходяться на платформі, точніше, при в'їзді поїзда до станції і при відходу від станції. Особлива небезпека має місце у часи «пик». В цей час станція перенасичена пасажирами і з'являється небезпека штовхання біля краю платформи. Це може призвести до вимушеного зіткнення людини з швидкохідною бічною поверхнею вагона. Також можливим за цим втягуванням людини під колеса внаслідок значного зчеплення поверхні одягу людини з поверхнею кузова вагона.

В основу технічного рішення поставлена задача забезпечення гарантованої безпеки перевозу пасажирів в поїздах метрополітену. Створюються запобіжні заходи зіткненню людини з рухомою бічною поверхнею вагона під час його стрімкого прибуття на станцію, або прискорення при виїзді, за допомогою стрічки безпеки. Ця стрічка встановлюється на зовнішніх бічних сторонах вагонів з примусовим поступальним її рухом в протилежному до руху поїзда напрямку і з тією ж швидкістю.

Запропоноване технічне рішення вагону метрополітену із зовнішньою стрічкою безпеки містить ходову частину, кузов суцільнозварної несучої конструкції. Кузов виконаний у вигляді замкнутої оболонки з вирізами в бічних стінах під вікна й двері, а також у даху вагона для вентиляційного обладнання пасажирського салону. Вентиляційне обладнання складається з пристроїв забирання зовнішнього повітря, його роздачі й випуску відпрацьованого повітря з вагона. Нижні частини зовнішніх бічних сторін вагона, нижчих за вікна, обладнані стрічками безпеки з примусовим поступальним рухом в протилежному до руху поїзда напрямку і з тією ж швидкістю.

Стрічка безпеки з примусовим поступальним рухом в протилежному до руху поїзда напрямку і з тією ж швидкістю, здійснює два рухи. Відносно станційної платформи – переносний поступальний рух разом з кузовом вагону і відносний поступальний рух уздовж бічної поверхні вагона в протилежному до

руху поїзда напрямку. Синтез цих двох рухів буде нерухомий стан поверхні стрічки відносно платформи і, відповідно, нерухомий її стан відносно пасажирів, які там знаходяться. Однаково, як при гальмуванні поїзда, так і за його прискорення.

На рис. 3 наведений загальний вид пропонуємого технічного рішення вагона метрополітену із зовнішньою стрічкою безпеки.

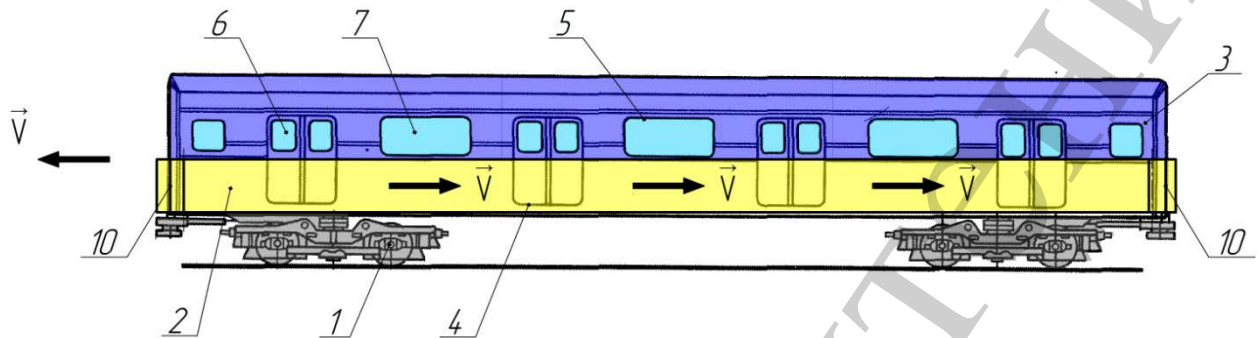


Рис. 3. Вагон метрополітену із зовнішньою стрічкою безпеки

На рис. 4 показаний вид вагона на рис. 1 зверху.

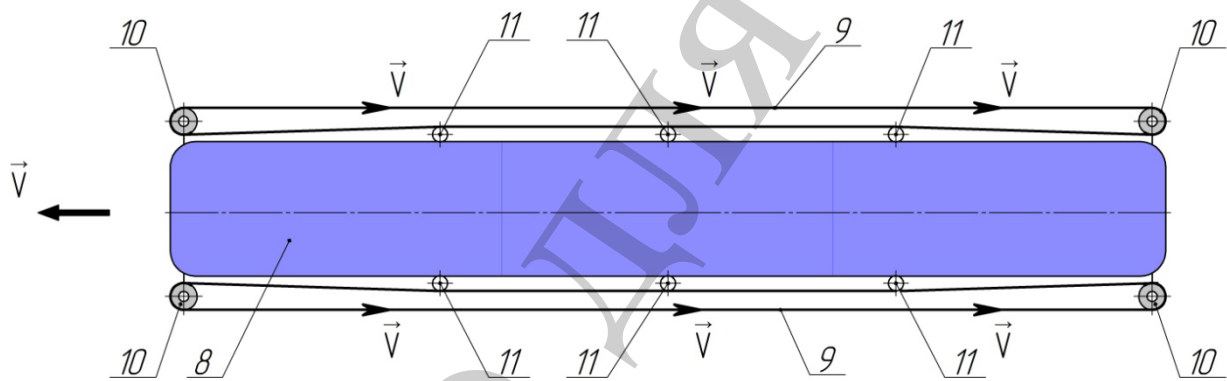


Рис. 4. Вид вагона метрополітену зверху

На рис. 5 показана конструкція валків.

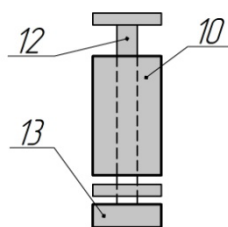


Рис. 5. Конструкція валків

Запропоноване технічне рішення вагона метрополітену із зовнішньою стрічкою безпеки (рис. 3) має на меті досягнення гарантованої безпеки перевозу пасажирів в поїздах метрополітену. Конструкція містить ходову частину 1, кузов 2, що складається з бічних стінок 3 із дверними 4 і віконними 5 прорізами

під двері 6 і вікна 7, даху 8, стрічок безпеки 9 (рис. 4). На валках 10 кріпиться стрічка безпеки, а валки 11 відповідають за контроль натягу стрічки. Валки 10 мають напрямні 12 для спуску та підйому стрічки безпеки 9, на кінцях напрямних 12 знаходяться фрикційні диски 13 такого ж діаметра, як і валки 10 (рис. 5).

Потужний швидкісний в'їзд електропоїзда метрополітену з тунелю на станцію являє собою надзвичайно високу небезпеку для пасажирів, які знаходяться на платформі, що не має огорожень від свого краю. Значна штовханина пасажирів на краю платформи у сукупності з недостатньою пильністю ситуації на рейках залізничного шляхопроводу породжує небезпеку раптового торкання людини плечем або кінцівками рук. Це відбувається внаслідок потужного удару з боку бічної поверхні вагона стрімко наближаючогося потягу метрополітену, що призводить до примусового обертання людини навколо його поздовжньої осі тулуба. Ступінь цього пливу окреслюється, перш за все, силою удару потягу та значним тертям одягу пасажира о стінки вагона та великою силою щеплення на місці знаходження нерухомих підборів взуття людини з поверхнею платформи, що цілком природно. Останній чинник дозволяє стверджувати наявність, в цьому випадку, сферичного руху тіла пасажира відносно підборів взуття нижніх кінцівок. Людина, відчуваючи поштовх та удар вагона, природно розставляє кінцівки верхніх рук із своїми речами, проявляючи безумовні рефлекси для утримання тіла в положенні рівновазі, але тим самим, ще гірше ускладнюючи свій динамічний стан після удару. Надалі важко прогнозувати, але статистика дає певні висновки щодо того, що верхні кінцівки слугують захопленню вагоном верхньої частини тіла і відриву нижньої частини тіла людини від платформи. Це неминуче втягне людину у щілину проміжку між краєм платформи і поверхнею вагона.

Робота запропонованого технічного рішення вагона метрополітену із зовнішньою стрічкою безпеки здійснюється наступним чином. На перегоні, стрічка безпеки 9 знаходиться у верхньому положенні, до рівня підвіконня. При підході до станції, фрикційні диски 13 входять в зачеплення з вертикальним краєм пасажирської платформи і починають обертатися разом з валками 10 навколо напрямних 12 з кутовою швидкістю:

$$\omega = \frac{V}{R},,$$

де V – швидкість поїзда, R – радіус фрикційного диска 13. Внаслідок цього обертання, надається поступальний рух стрічці безпеки із швидкістю:

$$V_1 = \omega R = \frac{V}{R} \cdot R = V,$$

протилежною до швидкості кузова вагона. Таким чином, відносно людини, що стоїть нерухомо на краю платформи, стрічка 9, цілком зрозуміло, не рухається, бо її стан визначається синтезом двох поступальних рухів – переносного і відносного. Переносним рухом виступає поступальний рух вагона, відносним – теж поступальний рух стрічки, але відносно бічної поверхні вагона і в протилежному напрямку. Обов'язково із швидкістю, рівною за величиною переносній швидкості.

Коли потяг відходить від станції, динаміка явища практично повторюється.

При зупинці поїзда на станції, автоматика (наприклад, електрична чи пневматична) опускає валки 10 із стрічкою донизу, відкриваючи доступ до дверей. Двері відчиняються і пасажири входять і виходять із салону. Потім двері зачиняються, автоматика знову піднімає валки з стрічкою безпеки вгору і поїзд починає рухатися зі станції на перегін. Далі все повторюється.

Важка гнучка стрічка безпеки, наприклад, з прогумованої тканини, зберігає вихідну жорсткість на весь час експлуатації.

Таким чином, запропоноване технічне рішення вагона метрополітену із зовнішньою стрічкою безпеки забезпечить гарантовану безпеку перевозу пасажирів в поїздах метрополітену і суттєво знизить вірогідність порушення графіку підземної залізниці.

6. Результати досліджень

З метою практичного підтвердження теоретичних міркувань був виготовлений діючий макет потягу метрополітену, обладнаний стрічкою безпеки (рис. 6).



Рис. 6. Лабораторний макет вагону метрополітену із зовнішньою стрічкою безпеки

Лабораторні дослідження макету дозволяють з великим ступенем певності стверджувати наступне:

– примусовий сферичний рух тіла людини в наслідок потужного бічного удару поверхнею вагона і наступним захопленням її завдяки значному тертю

підборів взуття о поверхню платформи та тертя одягу людини о бічну поверхню вагона примушує людину здійснювати рух. Це нагадує рух оберненого сферичного маятника з нерухомою точкою на підборах взуття людини. Що являє собою природний результат синтезу трьох обертальних рухів, які окреслюються трьома кутами Ейлера. Особливість розрахункової моделі полягає в тому, що в даному контексті здійснюється принципове тлумачення вивчаємого явища. Разом з тим, неабиякий вплив на розвиток небезпеки взаємодії вагона з людиною, а часом і вирішальний, здійснює поведінка не тільки самого пасажера. Важлива поведінка також і навколишніх, близько стоячих пасажирів, не тільки з точки зору динаміки взаємодії між вагоном і людиною. Та цілий ряд інших умов, наприклад, психологічного стану окремих осіб та можливість виникнення прикмет паніки серед значної маси людей на невеликій площі станції підземного шляхопроводу;

– синтез трьох обертальних рухів навколо нерухомої точки поверхні підборів взуття людини дає можливість визначити миттєву ось обертання людини, яка описує конічну поверхню, вершина якої співпадає з нерухомою точкою підборів взуття. Кути Ейлера ψ (кут прецесії), θ (кут нутації) та кут φ (власного обертання), за допомогою обчисленої таблиці напрямних косинусів дозволить автоматизувати процес виявлення особливостей сферичного руху людини та окреслити умови прояву локальних особливостей руху;

– дослідження лабораторного макету підтвердили ефективність заміни поступального руху бічної поверхні вагона додатковим обладнанням її гнучкою стрічкою, яка рухається із швидкістю потяга, але в протилежному напрямку. Таким чином, штучно формується синтез двох протилежно напрямлених рухів пропонуємої стрічки з однаковою швидкістю. В результаті чого поверхня стрічки відносно нерухомого пасажера на платформі не рухається.

Результати макетних досліджень підтвердили думку стосовно доцільності заміни поступального руху бічної поверхні вагона на складний рух, додатково обладнаної на бічній поверхні вагона огорожувальної стрічки безпеки. Вона рухається в протилежний до напрямку вагона бік, але з тією за величиною швидкістю. Синтез цих двох рухів дає ефект появи нерухомої частини стрічки безпеки відносно пасажера, що стоїть на платформі, і, отже, максимально підносить певність і надійність перевезення пасажирів електропоїздами підземки.

Лабораторний макет повністю підтвердив прогнозуємий ефект відсутності небезпеки травмування пасажирів і ступінь присутності технологічного ризику в експлуатаційних умовах.

Технічне рішення не обмежує можливостей автоматичного регулювання якості пропонуємої технічної реалізації.

7. SWOT-аналіз результатів дослідження

Strengths. Оригінальною стороною отриманих результатів лабораторних досліджень є підтвердження теоретичних передумов усунення причин небезпеки травмування пасажирів в очікуванні прибуваючого потягу на платформі. Це дасть змогу забезпечити: захист від травматизму людини;

зменшити кількість судових позовів; зменшить кількість лікарняних, які можуть бути в наслідок травматизму, уникне зупинку роботи станції метрополітену.

Weaknesses. Вадами пропонуємого технічного рішення постають необхідність доукомплектування вагона пристроями приводу та регулювання швидкості руху стрічки безпеки рівною за величиною швидкості вагона.

Opportunities. Розташовуючи рекламну інформацію на стрічці безпеки, можна забезпечити окупність даної продукції за рік. На даний момент 1 м² реклами обходиться приблизно 72 дол. США. Стрічка безпеки тільки на одному вагоні забезпечує 80 м² постійної реклами, а не наклеєних проспектів всередині вагона, які можна в будь-який момент зірвати. Також реклама пофарбованого складу метрополітену вимагає крім оплати за рекламу ще дорогої фарби і часу для того, щоб вагони висохли.

Стрічку безпеки можна використовувати не тільки в метрополітені та електропоїздах. Даний продукт необхідний для швидкісних трамваїв, фунікулерів, а особливо буде важливий на канатних дорогах в гірськолижних курортах.

Threats. Вихід на платформу підземки на різних станціях здійснюється не обов'язково в один бік. Таким чином, необхідно доукомплектування потягу навігаційною картою. Ефективність роботи стрічки безпеки залежить, окрім іншого, також від збереження нею фізико-механічних властивостей – натягу, пружності, забезпечення сухої поверхні торкання з пасажиром.

8. Висновки

1. Показано, що значне тертя поверхні підборів взуття пасажира та тертя верхньої частини тіла о бічну поверхню вагона обмежують можливість переміщення людини в просторі. Таким чином, в найпростішому випадку, верхня частина і кінцівки ніг будуть формувати нерухому ось обертання. Але, потужний удар цю ось здеформує і направить таким чином, що вона буде рухатися по поверхні, що є сукупністю миттєво обертальних рухів. І, таким чином, миттєва ось обертання описує конічну поверхню з вершиною, співпадаючою з підборами взуття.

2. Виявлено, що жорстко пов'язавши з людиною систему координат *хуз* можна визначити три кути Ейлера повороту відносно миттєвої осі і побудувати таблицю напрямних косинусів, які дозволяють визначити кінематичні характеристики примусового тіла людини відносно осей, зв'язаних з ним – $\omega_x \omega_y \omega_z$.

3. Показано, що стрічка безпеки, яка рухається у протилежному до вагона напрямку, але з тією ж швидкістю, буде синтез двох рухів, направлених з тією ж швидкістю, але в різні сторони. Це призводить до миттєво нерухомого стану елемента стрічки безпеки відносно пасажира. Отже, можна зробити висновок, що взаємна нерухомість людини і стрічки є гарантією повної небезпеки людини.

References

1. Sbornaya stantsiya metropolitena kolonnogo tipa: A. s. 692938 USSR. MPK E02D 29/00, E21D 13/00 / Antonov O. Yu. et al.; Assignee: All-Union Scientific Research Institute of Transport Construction. Appl. No. 2321922/29-03; Filed: 02.02.1976; Published: 25.10.1979, Bull. No. 39.
2. Dvustvorchatye dveri razdvizhnogo tipa: A. s. 264665 USSR. MPK E05F 7/04 / Gutsko V. A. et al.; Assignee: Leningrad Branch of the State Design and Exploration Institute «Metrogiprotrans». Appl. No. 1204194/29-14; Filed: 19.12.1967; Published: 03.03.1970, Bull. No. 9.
3. The effectiveness of platform screen doors for the prevention of subway suicides in South Korea / Chung Y. W. et al. // Journal of Affective Disorders. 2016. Vol. 194. P. 80–83. doi:[10.1016/j.jad.2016.01.026](https://doi.org/10.1016/j.jad.2016.01.026)
4. Uittenbogaard A., Ceccato V. Temporal and spatial patterns of suicides in Stockholm's subway stations // Accident Analysis & Prevention. 2015. Vol. 81. P. 96–106. doi:[10.1016/j.aap.2015.03.043](https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.03.043)
5. A novel approach for crowd video monitoring of subway platforms / Hu X. et al. // Optik – International Journal for Light and Electron Optics. 2013. Vol. 124, No. 22. P. 5301–5306. doi:[10.1016/j.ijleo.2013.03.057](https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2013.03.057)
6. Yang J.-T. Safety Risk Analysis and Countermeasures Study on Regular Mass Passenger Flow of China's Urban Subway // Procedia Engineering. 2016. Vol. 135. P. 175–179. doi:[10.1016/j.proeng.2016.01.104](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.01.104)
7. An incident database for improving metro safety: The case of shanghai / Zhang X. et al. // Safety Science. 2016. Vol. 84. P. 88–96. doi:[10.1016/j.ssci.2015.11.023](https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.11.023)
8. The safety management of urban rail transit based on operation fault log / Ding X. et al. // Safety Science. 2017. Vol. 94. P. 10–16. doi:[10.1016/j.ssci.2016.12.015](https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.12.015)
9. Safety risk identification system for metro construction on the basis of construction drawings / Ding L. Y. et al. // Automation in Construction. 2012. Vol. 27. P. 120–137. doi:[10.1016/j.autcon.2012.05.010](https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.05.010)
10. Joint optimal train regulation and passenger flow control strategy for high-frequency metro lines / Li S. et al. // Transportation Research Part B: Methodological. 2017. Vol. 99. P. 113–137. doi:[10.1016/j.trb.2017.01.010](https://doi.org/10.1016/j.trb.2017.01.010)
11. Seriani S., Fernandez R. Pedestrian traffic management of boarding and alighting in metro stations // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. 2015. Vol. 53. P. 76–92. doi:[10.1016/j.trc.2015.02.003](https://doi.org/10.1016/j.trc.2015.02.003)
12. Qian Q., Lin P. Safety risk management of underground engineering in China: Progress, challenges and strategies // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2016. Vol. 8, No. 4. P. 423–442. doi:[10.1016/j.jrmge.2016.04.001](https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2016.04.001)
13. Vagony / ed. by Kuzmich L. D. Moscow: Mashinostroenie, 1978. 376 p.
14. Posobie po ekspluatatsii vagonov metropolitena modeley 81-717,5 i 81-714,5. Moscow: Transport, 1993. 447 p.