

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
Кафедра «Транспортна інфраструктура»

ЦІОНАЛЬНА ШКОЛА МАЙСТЕРНОСТІ ТА ПРОФЕСІЙ
СНАМ, ФРАНЦІЯ

«ДО ЗАХИСТУ ДОПУЩЕНО»

Завідуючий кафедрою:

д.т.н., проф.

(вч. звання, ступінь)

Тютюкін О. Л.

(підпис)

(ПІБ)

« 15 » 12 2022 р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО ДИПЛОМНОЇ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ
на отримання ОКР «магістр»

Напрямок 27 «Транспорт»

Спеціальність 273 «Залізничний транспорт»

зація «Інтероперабельність і безпека на залізничному транспорті»

робка критеріїв оцінки транспортної ситуації та алгоритму дій
машиніста при виникненні небезпеки

(підпис)

Корольков Артем Анатолійович

(ПІБ)

Керівник:

к.т.н., доцент

(вч. звання, ступінь)

(підпис)

Болжеларський Я.В.

(Прізвище ініціали)

Дніпро
2022

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		1

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ І СЛОВНИК ТЕХНІЧНИХ ТЕРМІНІВ

БТС	Безпечна транспортна ситуація
ЗБР	Загроза безпеці руху
ЗТП	Залізнично-транспортна пригода
КТС	Катастрофічна транспортна ситуація
НТС	Небезпечна транспортна ситуація
ПТЕ	Правила технічної експлуатації залізниць України
РПЧ	Моторвагонне депо
ССРС	Спеціальний самохідний рухомий склад
FRA	Підхід нечіткої аргументації
FAHP	Процес нечіткої аналітичної ієрархії

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 ЗАГАЛЬНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ ОЦІНКИ МАШИНІСТАМИ ТРАНСПОРТНИХ СИТУАЦІЙ.....	7
1.1 АНАЛІЗ НАУКОВИХ РОБІТ, ЩО ПРИСВЯЧЕНІ ВПЛИВУ «ЛЮДСЬКОГО ЧИННИКА» НА РОЗВИТОК ЗАЛІЗНИЧНО-ТРАНСПОРТНИХ ПРИГОД.....	7
1.2 КЛАСИФІКАЦІЯ ТРАНСПОРТНИХ СИТУАЦІЙ ТА РОЛЬ «ЛЮДСЬКОГО ЧИННИКА» У ЇХ РОЗВИТКУ	9
1.3 АНАЛІЗ ВИМОГ НОРМАТИВНИХ ДОКУМЕНТІВ, ЩО РЕГЛАМЕНТУЮТЬ ДІЇ МАШИНІСТА ПРИ ВИНИКНЕННІ НЕБЕЗПЕКИ	14
2. АНАЛІЗ ЗАЛІЗНИЧНО-ТРАНСПОРТНИХ ПРИГОД ТА ДІЙ МАШИНІСТІВ	19
2.1 ЗАГАЛЬНІ ПІДХОДИ ДО ЗАПОБІГАННЯ ЗІТКНЕНЬ ТА НАЇЗДІВ НА ЛЮДЕЙ	19
2.2 ЗІТКНЕННЯ З АВТОТРАНСПОРТОМ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ПЕРЕЇЗДІ	20
2.3 НАЇЗД НА СТОРОННЮ ОСОБУ, ЩО ЗНАХОДИЛАСЬ НА КОЛІЇ	43
3. ЗАСТОСУВАННЯ ПРИНЦИПІВ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ ДЛЯ ОЦІНКИ ТРАНСПОРТНИХ СИТУАЦІЙ.....	63
3.1 ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ	63
3.2 БАЗОВІ ПОНЯТТЯ МАТЕМАТИЧНОГО АПАРАТУ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ.....	65
3.3 ВИБІР ЛІНГВІСТИЧНИХ ЗМІННИХ ДЛЯ ВИПАДКУ НАБЛИЖЕННЯ ПОЇЗДА ТА АВТОМОБІЛЯ ДО ПЕРЕЇЗДУ	75

					0032.216531.МДР.2021.001			
Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дата				
Розроб		Корольков А.А.			Розробка критеріїв оцінки транспортної ситуації та алгоритму дій машиніста при виникненні небезпеки	Літ	Лист	Листов
Перевірив		Болжеларський Я.В.						
						8-Інтер		
Н. контр.								
Затв.								

4 РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ДІЙ МАШИНІСТА У ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНІЙ ТРАНСПОРТНІЙ СИТУАЦІЇ	79
4.1 АЛГОРИТМ ДІЙ МАШИНІСТА ПРИ ВИЯВЛЕНІ АВТОМОБІЛЯ, ЩО ЗНАХОДИТЬСЯ У МЕЖАХ ГАБАРИТУ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ПЕРЕЇЗДІ	79
4.2 АЛГОРИТМ ДІЙ МАШИНІСТА ПРИ ВИЯВЛЕНІ АВТОМОБІЛЯ, ЩО НАБЛИЖАЄТЬСЯ ДО ПЕРЕЇЗДУ	80
4.3 ЗАСТОСУВАННЯ ЕКСПЕРТНОГО МЕТОДУ ДЛЯ ВСТАНОВЛЕННЯ ФУНКЦІЙ СУМІСНОСТІ	82
ВИСНОВКИ	84
БІБЛІОГРАФІЯ.....	86
СПИСОК РИСУНКІВ	89
СПИСОК ТАБЛИЦЬ	90
АНОТАЦІЯ ТА КЛЮЧОВІ СЛОВА.....	91

ВСТУП

Причини зіткнень на залізничних переїздах та наїздів рухомого складу на людей вважаються очевидними. У суспільстві склалася думка, що винен або водій, який не дотримався правил дорожнього руху, або пішохід, який був неуважний, переходив колію у невстановленому місці, був у навушниках і т.п. Однак з точки зору права не все так очевидно. При розслідуванні таких залізнично-транспортних пригод завжди постає питання, а чи міг машиніст запобігти зіткненню чи наїзду, чи була у нього така можливість у момент виявлення небезпеки, чи правильно він діяв до моменту коли така можливість зникла і він уже нічого не міг зробити. Очевидно, що це важливе питання, адже ситуація, коли, наприклад, машиніст побачивши на значній відстані людину, яка йде по колії і не реагує на звукові сигнали або не чує їх, тим не менше продовжує рух, вважаючи, що це проблема людини і по коліях ходити не можна, є неприпустимою ні з правової ні з етичної точки зору.

Характерною є і обернена ситуація, коли правоохоронні органи висувають необґрунтовані звинувачення машиністу у тому, що він не вчасно зреагував, наприклад на автомобіль, який наближається до переїзду, адже нібито можна було передбачити, що автомобіль не зупиниться.

Таким чином, питання оцінки транспортної ситуації машиністами локомотивів, як небезпечної, є важливим та актуальним, що пов'язано як з долями людей так і з підвищенням рівня безпеки руху.

Метою дослідження є підвищення безпеки руху шляхом розробки алгоритму дій машиніста при виникненні небезпеки в умовах розбіжності вимог нормативних документів щодо дій машиніста.

Для досягнення вказаної мети необхідно вирішити наступні задачі:

- проаналізувати наукові роботи, що присвячені впливу «людського фактора» на розвиток залізнично-транспортних пригод;
- розглянути класифікацію транспортних ситуацій і роль машиністів у їх

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		5

розвитку та запобіганні;

- проаналізувати вимоги нормативних документів, що регламентують дії машиністів при виникненні небезпеки;

- визначити можливість запобігання машиністом основних видів залізнично-транспортних пригод;

- розглянути основні поняття нечіткої логіки та її математичний апарат у стосунку до теми дослідження;

- визначити перелік лінгвістичних змінних для випадку зіткнень та наїздів, розробити методику визначення їх функцій призначення.

Об'єктом дослідження є рух поїзда (локомотива) в умовах загрози безпеці руху.

Предметом дослідження є дії машиніста щодо оцінки транспортної ситуації.

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		6

1 ЗАГАЛЬНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ ОЦІНКИ МАШИНІСТАМИ ТРАНСПОРТНИХ СИТУАЦІЙ

1.1 Аналіз наукових робіт, що присвячені впливу «людського чинника» на розвиток залізнично-транспортних пригод

Фундаментальною вітчизняною працею, у якій детально розглядається вплив «людського чинника» на безпеку руху, є монографія [1]. Окремий розділ вказаної монографії присвячений впливу людини-оператора на безпечність руху. Автори наводять методику оцінювання значимості людського чинника в забезпеченні безпеки руху, підходи до оцінювання безпечних властивостей операторів у системах керування рухом поїздів. У роботі дано визначення індивідуальної норми, як функціонального оптимуму безпечності та також способу її ідентифікації.

Також автори розглядають можливість застосування нечіткої логіки до ранжування ризиків.

Праця [2] цілком присвячена питанню впливу людського чинника на безпеку руху на залізничному транспорті. Автори визначають, що „ незважаючи на різні погляди відносно безпеки руху на залізничному транспорті, людський чинник протягом багатьох років розглядається як один із головних чинників збільшення ризику виникнення позаштатних і аварійних ситуацій, отже проблема підвищення безпеки руху на залізничному транспорті, як і в інших галузях суспільного Нормобудування, вимагає постійної уваги”.

У питанні аналізу транспортних ситуацій необхідно відзначити праці д.т.н. Сокола Е.М. Його серія монографій [3-5] цілком присвячена питанням аналізу залізнично-транспортних пригод при проведенні судових залізнично-транспортних експертиз. Аналіз «людського чинника» і діяльність машиністів зокрема проходить «червоною ниткою» через усі його праці.

Так у праці [3] наводиться методика визначення зупиночного шляху поїзда, складовою якого є шлях, що проходить поїзд за час реакції машиніста. Автор надає порядок розрахунку часу реакції машиніста у залежності від його

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		7

функціонального стану на основі проведеного комплексу досліджень.

Крім того, значна увага у даній праці приділена аналізу механізмів залізнично-транспортних пригод при різних типах зіткнень та наїздів.

Праця [4] в основному присвячена аналізу сходів з рейок рухомого складу і впливу «людського чинника» на формування механізму ЗТП. Також досліджується питання організації судової залізнично-транспортної експертизи.

Завершальною у серії стала праця [5] у якій підведено підсумки багаторічної роботи автора над питанням аналізу механізму залізнично-транспортної пригоди. Завершено формування поняття «Механізм ЗТП», наведена остаточна (на час написання монографії) класифікація транспортних ситуацій. Значна увага також приділена визначенню можливості запобігання ЗТП.

Ряд праць відчизняних учених присвячені також розгляду окремих питань безпеки руху на залізничному транспорті у стосунку до запобігання зіткнень. Так у праці [6] розглядаються методи підвищення безпеки руху на залізничних переїздах, а також організаційні та технічні заходи, які цьому сприяють. Вплив технічних параметрів залізничної переїзної сигналізації на розвиток механізму зіткнення на залізничних переїздах розглядається у праці [7]. Результати досліджень ЗТП на залізничних переїздах та роль машиністів у запобіганні даного виду ЗТП є предметом розгляду у [8]. Монографія [9] цілком присвячена питанню забезпечення безпеки на залізничних переїздах. У ній розглядаються як технічні так і організаційні питання безпеки.

Окрему групу складають праці, що присвячені нечіткій логіці, теорії нечітких множин та їх застосуванню у вирішенні практичних питань безпеки.

Базовою працею, у якій закладені основні поняття нечіткої логіки та описано її математичний апарат є праця [9]. У праці вводиться поняття нечіткої множини і лінгвістичної змінної, значеннями якої є не числа, а слова та речення природньої чи штучної мови. Автор відзначає важливість прийняття рішень у складних умовах.

У праці [10] відзначено, що управління ризиками стає все більш важливим для залізничних компаній, з метою захисту пасажирів і працівників, підвищення

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		8

безпеки та зменшення витрат на технічне обслуговування. Однак у багатьох випадках застосування інструментів ймовірнісного аналізу ризику може не дати задовільних результатів, оскільки дані про ризик є неповними або існує високий рівень невизначеності в даних про ризик. У праці представлено розробку системи управління ризиками для аналізу ризиків на залізниці з використанням підходу нечітких міркувань і процесу прийняття рішень на основі нечіткої аналітичної ієрархії. У системі використовується підхід нечіткої аргументації (FRA) для оцінки рівня ризику кожної небезпечної події з точки зору частоти відмов, серйозності наслідків та ймовірності наслідків. Це дозволяє отримати неточну або приблизну інформацію в процесі аналізу ризику. Техніка процесу нечіткої аналітичної ієрархії (fuzzy-АНР) потім включається в модель ризику, щоб використовувати її перевагу у визначенні відносної важливості вкладу ризику, щоб оцінка ризику могла просуватися від рівня небезпечної події до рівня групи безпеки і, нарешті, до рівня залізниці.

У праці [11] відзначається, що оцінка ризиків на залізниці є ієрархічним процесом, де інформація про ризик, отримана на нижчих рівнях, може бути використана для оцінки ризику на вищих рівнях. Процес нечіткої аналітичної ієрархії (FАНР) широко використовується в процесі прийняття рішень щодо ризиків для Нерішення неточних ієрархічних проблем, де дані про ризики є неповними або існує високий рівень невизначеності в даних про ризики, зокрема, у процесі безпеки та ризиків на залізниці.

Таким чином, аналіз наукових праць, що присвячені питанням ролі «людського чинника» у забезпеченні безпеки руху, показав, що існують значні напрацювання вітчизняних та закордонних учених у даній галузі. У тому числі, вченими розглядалося питання використання підходів нечіткої логіки до аналізу ризиків та оцінки дій операторів.

1.2 Класифікація транспортних ситуацій та роль «людського чинника» у їх розвитку

Механізм зіткнення транспортних засобів, як і будь-яка система, що являє

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		9

собою сукупність взаємодіючих елементів, характеризується *змістом* та *формою* [5].

Формою механізму залізнично-транспортної пригоди є його організація у вигляді структурної схеми, що складається з незалежних ланцюгів, вузлів і загального (кінцевого) ланцюга, у яких проміжні ланки (елементи), що створюють стійкі причинно-наслідкові зв'язки, розглядаються як технічні причини – посередники.

Безпосередня ж технічна причина пригоди, яка міститься у загальному (кінцевому) ланцюзі механізму, характеризується тим, що між нею та кінцевим елементом (подією) механізму причини-посередники відсутні. Відзначений момент враховано при формуванні даного висновку.

Змістом механізму залізнично-транспортної пригоди є зовнішні взаємодії механізму з оточуючими системами та внутрішні динамічні перетворення, яким підлягають транспортні ситуації, що охоплюють усю структуру механізму.

До транспортних ситуацій відносяться: *безпечна транспортна ситуація (БТС); загроза (потенційна чи реальна) безпеці руху (ЗБР); небезпечна транспортна ситуація (НТС); катастрофічна транспортна ситуація (КТС)* (рис. 1).

Безпечна транспортна ситуація (БТС) характеризується тим, що вона містить у собі потенційну ймовірність перетворення її у загрозу безпеці руху (ЗБР).

Загроза безпеці руху (ЗБР), яка передбачає будь-яку невідповідність фактичних дій учасників ЗТП вимогам нормативних документів, характеризується тим, що вона містить у собі ймовірність перетворення її у НТС.

Небезпечна транспортна ситуація характеризується тим, що при її виникненні механізм ЗТП може відмовити (не спрацювати), тобто НТС містить у собі ймовірність запобігання спрацювання механізму ЗТП.

Катастрофічна транспортна ситуація являє собою сукупність елементів (ланок) різних ланцюгів механізму, які об'єднані єдиною сутністю. Розвиток та перетворення одних транспортних ситуацій у інші призводить або до спрацювання механізму, або до відмови його спрацювання (до запобігання ЗТП).

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		10

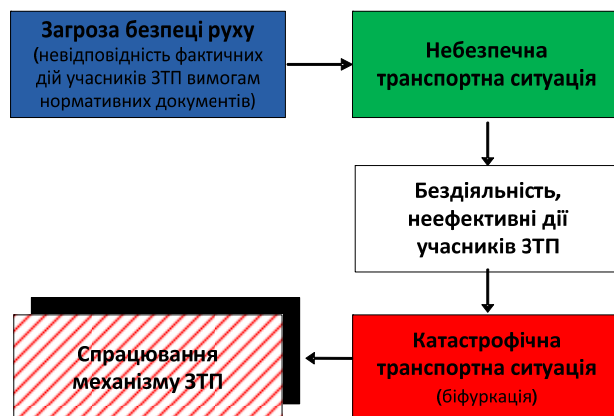


Рисунок 1 - Зміст, форма та умова спрацювання механізму залізнично-транспортної пригоди

Умова спрацювання механізму транспортної пригоди

Для спрацювання механізму транспортної пригоди необхідно виконання двох умов: *необхідної та достатньої* (див. рис. 1).

Необхідна умова. Невідповідність фактичних дій учасників пригоди вимогам нормативних документів, як правило, призводить до виникнення НТС.

Розвиток НТС обмежено часовими рамками – початковим та кінцевим моментами. Початковий момент розвитку транспортної ситуації (момент виникнення небезпеки для руху) – це момент, у який певна подія механізму стає джерелом небезпеки, що вимагає вжиття невідкладних заходів для запобігання залізнично-транспортній пригоді.

Достатня умова. Кінцевий момент розвитку НТС – це момент якісного перетворення небезпеки у ще більшу небезпеку – у КТС, яка характеризується тим, що прийняттям екстрених заходів запобігти пригоді уже неможливо. Відповідно, початковий момент розвитку КТС доцільно вважати достатньою умовою спрацювання механізму.

Умова відмови спрацювання механізму залізнично-транспортної пригоди

Для відмови спрацювання механізму транспортної пригоди необхідне виконання також двох умов: *необхідної та достатньої* (рис. 2).

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		11

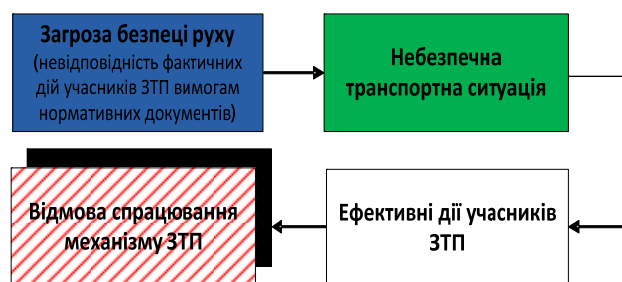


Рисунок 2 - Умова відмови спрацювання механізму залізнично-транспортної пригоди.

Необхідна умова. Як уже відзначалось, НТС характеризується тим, що у ній закладена ймовірність запобігання настанню КТС. Запобігти настанню КТС можливо лише при ефективних професійних діях «людського» фактору. Тобто, прийняття (здійснення) ефективних заходів, що направлені на запобігання КТС, доцільно вважати необхідною умовою відмови спрацювання механізму ЗТП.

Достатня умова. Виконання необхідної умови не завжди призводить до відмови спрацювання механізму пригоди. Наприклад, для запобігання зіткненню з нерухомою перешкодою достатньо, щоб зупиночний шлях s_z транспортного засобу був меншим відстані X між транспортним засобом, який рухається та нерухомою перешкодою в момент, коли машиніст (оператор) транспортного засобу зреагував на небезпеку і почав застосовувати превентивні заходи. Іншими словами, якщо $s_z < X$, то, при виконанні необхідної умови, катастрофічна транспортна ситуація не настає, тобто має місце відмова спрацювання механізму залізнично-транспортної пригоди.

Якщо ж $s_z > X$, то при виконанні необхідної умови катастрофічна транспортна ситуація настає, тобто має місце спрацювання механізму пригоди.

Тобто, при виконанні необхідної умови, співвідношення $s_z < X$ необхідно вважати *достатньою умовою* відмови спрацювання механізму.

Як уже відзначалось, і в спрацюванні, і у відмові спрацювання механізму транспортної пригоди певну роль відіграє «людський» фактор.

У багатьох транспортних пригодах, які пов'язані із зіткненнями

транспортних засобів, наїздами на нерухомі перешкоди та людей, роль «людського» фактору носить активний характер. Ефективні та кваліфіковані дії «людського фактору» сприяють запобіганню зіткненню (наїзду). Неефективні та некваліфіковані дії «людського» фактору у небезпечній транспортній ситуації сприяють зіткненню чи наїзду; формування ж механізму пригоди відбувається у досить стислі часові терміни (хвилини, секунди).

Необхідно відзначити також і те, що за ступенем сприйняття транспортних ситуацій посадовими особами усі транспортні пригоди розподіляються на дві групи.

До першої групи відносяться транспортні пригоди, у яких розвиток НТС та КТС і моменти перетворень одних ситуацій у інші знаходяться у межах сприйняття учасниками пригоди, а заходи, що ними застосовуються для запобігання пригоді, здійснюються в умовах НТС або в умовах КТС.

До другої групи відносяться транспортні пригоди, у яких формування ЗБР, розвиток НТС та КТС та моменти перетворення ЗБР в НТС, НТС у КТС (перший та другий критичні моменти відповідно) знаходяться за межами сприйняття вказаних процесів особами, що приймають участь у реалізації пригоди.

Тобто, критичні моменти у структурі механізму ЗТП відіграють досить суттєву роль, оскільки вони апріорі визначають межі розвитку транспортних ситуацій незалежно від ступеня задіявання «людського» фактору у запобіганні транспортної пригоди, тобто незалежно від того, у якій з транспортних ситуацій (НТС чи КТС) був задіяний «людський» фактор для реалізації відмови спрацювання механізму пригоди.

Як уже відзначалось, задіяванням «людського» фактору в умовах КТС запобігти спрацюванню механізму пригоди не вдається, а в умовах НТС така можливість є.

Тобто, вирішення задачі зводиться до визначення моментів часу, у яких одні транспортні ситуації перетворюються у інші, а також до встановлення транспортної ситуації (НТС чи КТС), у якій задіюється «людський» фактор.

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		13

Якщо виявиться, що «людський» фактор був задіяний в умовах КТС, то потрібно вирішувати задачу про зменшення наслідків, які мали місце у зв'язку із задіяванням «людського» фактору. Якщо ж виявиться, що «людський» фактор був задіяний в умовах НТС, то необхідно вирішувати задачу про причини, які не призвели до запобігання пригоди.

Таким чином, *форма* механізму зі стійкими причинно-наслідковими зв'язками дозволяє установлювати безпосередню технічну причину спрацювання механізму пригоди, а *зміст* механізму (динамічні перетворення одних транспортних ситуацій у інші) дозволяє вирішувати задачу про можливість її запобігання.

1.3 Аналіз вимог нормативних документів, що регламентують дії машиніста при виникненні небезпеки

Залізнична колія – це зона підвищеної небезпеки. При користуванні послугами залізничного транспорту, знаходженні на його територіях та об'єктах громадяни України повинні керуватися «Правилами безпеки громадян на залізничному транспорті України» [13] та «Правилами поведінки громадян на залізничному транспорті України» [14], невиконання яких може призвести до настання залізнично-транспортної пригоди.

У свою чергу при веденні поїзда (локомотива) локомотивна бригада повинна чітко виконувати вимоги «Правил технічної експлуатації залізниць України» [15], «Інструкції з експлуатації гальм рухомого складу на залізницях України» [16], чинних інструкцій, наказів, вказівок та інших нормативно – правових актів.

Для достовірної оцінки дій членів локомотивної бригади у випадку загрози наїзду на перешкоду розглянемо вимоги нормативних документів та відобразимо існуючі між ними розбіжності.

Згідно пункту 16.2 Правил [15], „На станціях машиніст спеціального самохідного рухомого складу і всі інші працівники, які обслуговують ССРС, підкоряються наказам чергового по станції, а на станціях ділянок, обладнаних

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		14

диспетчерською централізацією, - поїзного диспетчера.”.

Згідно пункту 16.30 Правил [15], „Швидкості руху поїздів на перегонах і станціях установлюються начальником залізниці і передбачаються графіком руху поїздів.

Швидкість руху на ділянці, де вимагається зменшення швидкості, має відповідати зазначеній у попередженні або наказі начальника залізниці.”.

Згідно пункту 16.38 Правил [15], „Під час ведення поїзда машиніст та його помічник зобов’язані:

- забезпечити безпечний рух поїзда з точним дотриманням графіка руху;
- стежити за вільністю колії, сигналами, сигнальними покажчиками та знаками, виконувати їх вимоги і повторювати один одному всі сигнали, що подаються світлофорами, сигнали зупинки та зменшення швидкості, що подаються з колії і поїзда;
- стежити за станом і цілісністю поїзда, а на електрифікованих ділянках, крім того, і за станом контактної мережі
- при проходженні по станційних коліях подавати встановлені сигнали, стежити за правильністю маршруту, за вільністю колії та сигналами, що подаються працівниками станції, негайно вживати заходів до зупинки в разі загрози безпеці руху чи для запобігання наїзду на людей.”.

Згідно пункту 16.39 Правил [15], „Під час ведення поїзда машиніст повинен:

- мати гальмівні пристрої завжди готовими до дії,...;
- ...- в разі несподіваної подачі сигналу зупинки або раптового виникнення перешкоди негайно застосувати пристрої екстреного гальмування для зупинки поїзда;...”.

Згідно пункту 16.40 Правил [15], „На шляху прямування машиністу забороняється:

- перевищувати швидкості, встановлені цими Правилами, наказом начальника залізниці, а також виданими попередженнями та показаннями сигналів;
- відволікатися від керування локомотивом... та стеженням за сигналами і

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		15

станом колії...”.

Згідно пункту 3 Інструкції [17], „обов’язки локомотивної бригади

3.6 Виконувати оперативні розпорядження... поїзного та локомотивного диспетчера... чергового по станції...”.

Згідно пункту 3.18 Інструкції [17], „Машиніст локомотива зобов’язаний:

3.18.1 Забезпечувати безпеку руху на основі ретельного виконання вимог ПТЕ, чинних нормативних актів (інструкцій, наказів, вказівок тощо).

3.18.2 Забезпечувати виконання графіка руху поїздів та завдань на маневрову роботу, не допускаючи спрощень, порушень вимог ПТЕ та інших нормативних актів.”.

Згідно пункту 10.1.21 Інструкції [16], „Екстрене гальмування у всіх поїздах і на будь-якому профілі колії застосовується лише тоді, коли потрібно негайно зупинити поїзд.

Екстрене гальмування в разі потреби також застосовують на одиничному локомотиві та локомотиві, який виконує маневрову роботу, незалежно від того, ввімкнені гальма в составі, чи ні.”.

Згідно пункту 6.1 Інструкції [18], „При веденні ССРС машиніст та його помічник зобов’язані:

6.1.1 Під час ведення поїзда:

забезпечити безпечний рух ССРС з точним дотриманням графіка руху;

стежити за вільністю колії, положенням стрілок за маршрутом руху, сигналами, сигнальними покажчиками та знаками, виконувати їх вимоги і повторювати один одному всі сигнали;

при входу на станцію та проходженні по станційних коліях подавати встановлені сигнали;

стежити за правильністю маршруту;

за вільністю колії та сигналами, що подаються працівниками станції, а також за рухом поїздів і маневровими переміщеннями на суміжних коліях;

негайно вжити заходів до зупинки в разі загрози безпеці руху чи для запобігання наїзду на людей.

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		16

6.1.10 Під час ведення поїзда машиніст повинен: мати гальмові притрої завжди готовими до дії, перевіряти їх на шляху прямуювання; у разі раптового виникнення перешкоди негайно застосувати пристрої екстреного гальмування для зупинки поїзда.

6.1.11 На шляху прямуювання машиністу забороняється:

перевищувати швидкості руху, встановлені наказом Н залізниці або виданими попередженнями

відволікатися від керування спеціальним самохідним рухомим складом

Згідно пункту 6.2 Інструкції [18], «Машиніст ССРС зобов'язаний:

6.2.1 Забезпечувати безпеку руху згідно з вимогами ПТЕ та інших нормативних актів УЗ.».

Згідно пункту 17.1 Регламенту [19], „Якщо на залізничній колії, яка входить в маршрут прямуювання поїзда, знаходиться людина або автотранспортний засіб:

локомотивна бригада зобов'язана подавати сповіщувальний сигнал до того моменту, поки людина або автотранспортний засіб не залишить небезпечну зону;

машиніст зобов'язаний застосувати екстрене гальмування у випадку виникнення загрози наїзду або зіткнення (людина не реагує на звукові сигнали, що подаються, автотранспортний засіб не залишає небезпечну зону).”.

Відповідно до пункту 16.38 Коментарів [20] «Якщо буде помічена будь-яка перешкода для безпечного проходження поїзда по станційних коліях, то машиніст зобов'язаний негайно вжити заходів щодо зупинки поїзда».

Відповідно до пункту 16.39 Коментарів [20] «Машиніст може у випадку крайньої необхідності (для запобігання зіткнення, наїзду на людей тощо) виконати екстрене гальмування».

Проаналізувавши вищенаведені пункти нормативних документів щодо порядку дій членів локомотивної бригади у випадку наїзду на перешкоду необхідно звернути увагу на розбіжність між пунктами 16.39 Правил [15] та 17.1 Регламенту [19] у частині застосування машиністом екстреного гальмування, а також на *нечіткість* інших положень нормативних документів, що регламентують дії машиніста.

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		17

Таким чином алгоритм дій машиніста при виявленні перешкоди (реальної чи потенційно можливої) у нормативних документах визначений *нечітко*. Слід зазначити, що поняття «безпека» у принципі відноситься до тих складних явищ, які не підлягають опису у загальноприйнятих кількісних термінах, тобто *визначені нечітко*. Тому для кількісного опису таких явищ можна використати математичний апарат нечіткої логіки, який розроблений Л. Заде.

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		18

АНАЛІЗ ЗАЛІЗНИЧНО-ТРАНСПОРТНИХ ПРИГОД ТА ДІЙ МАШИНІСТІВ

2.1 Загальні підходи до запобігання зіткнень та наїздів на людей

Запобіганню зіткнень залізничних- та автотранспортних засобів приділяється серйозна увага. У місцях інтенсивного поперечного руху поїздо- і автопотоків влаштовуються перетини автомобільних доріг і залізничних колій у різних рівнях — шляхопроводи, а в місцях менш інтенсивного руху влаштовуються перетину одному рівні — переїзди.

З метою забезпечення хорошої видимості переїзди роблять на прямих ділянках колії та під прямим кутом. На переїздах укладається настил, під'їзди до переїздів огорожуються стовпчиками чи поруччями.

Переїзди поділяються на чотири категорії. Переїзди вищої категорії обслуговуються змінними черговими (охороною) та обладнуються освітленням, телефонним зв'язком, сигналізацією та автоматичними шлагбаумами.

На електрифікованих залізницях переїзди обладнуються габаритними воротами.

Однак, незважаючи на профілактичні заходи, залізничні переїзди залишаються серйозним осередком залізнично-транспортних пригод.

На магістральних залізницях України нині налічується 6440 переїздів. За останні 10 років на переїздах сталося 900 зіткнень автотранспортних засобів із залізничними. При цьому лише за останні 5 років кількість постраждалих склала 348 осіб, у тому числі загинули 77 осіб.

Статистичний матеріал про зіткнення на переїздах інших країн, у тому числі США, також представляє певний інтерес.

Мережа американських залізниць має протяжність близько 113 тис. миль і налічує від 270 до 300 тисяч переїздів. При цьому за кількістю смертельних випадків зіткнення на переїздах посідають перше місце серед інших залізнично-транспортних пригод.

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		19

Основними причинами аварій (початковими ланками механізму ЗТП) у США визнано правопорушення, пов'язані із загальним інтелектуальним рівнем та психофізіологічним станом водіїв автотранспортних засобів:

свідоме ігнорування сигналів облаштувань попереджувальної сигналізації («гра» з поїздом, лихацтво, нетерпіння, поспіх, безвідповідальність);

несвідоме ігнорування сигналів пристроїв попереджувальної сигналізації (відсутність навички користування сигналами, втрата пильності та уваги, переоцінка своїх можливостей).

Активне використання засобів попереджувальної сигналізації дозволило знизити загальну кількість жертв, травм та аварій приблизно в 2 рази.

У Сполучених Штатах є приблизно 105 000 приватних переїздів і приблизно 165 000 громадських переїздів, що перебувають під юрисдикцією громадської влади.

На громадських переїздах є два основних типи попереджень: пасивні та активні пристрої попереджувальної сигналізації. Пасивні пристрої – це постійні пристрої керування рухом на дорозі, що вказують на наявність залізничного переїзду. Активні пристрої функціонують у випадку наближення поїзда і включають мигаючі сигнали, автоматичні шлагбауми та інші подібні пристрої.

Майже у кожному типі активного пристрою попереджувальної сигналізації на переїздах використовуються рейкові кола.

2.2 Зіткнення з автотранспортом на залізничному переїзді

Незважаючи на досить серйозні заходи безпеки, зіткнення на переїздах відбуваються. При цьому у деяких випадках це призводить до загибелі значної кількості людей. Проаналізуємо характерний випадок зіткнення на залізничному переїзді. Зіткнення відбулося при наступних обставинах (прізвища, імена та по-батькові, а також назви станції, доріг та інші дані, які дозволяють ідентифікувати даний випадок, були змінені).

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		20

14.12.2XXX року о XX год. XX хв. до чергової частини ЛВ на ст. Думи надійшло повідомлення від чергової Думської дирекції залізничних перевезень Мирноз Ольга Іванівна, про те, близько о 14.50 год. на не охоронюваному переїзді 23 км. перегону Амбари-Нори, водій маршрутного таксі сполученням «Думи-Нори-Манявка», держ.номер МУ32-98А4 Малатка Іван Вікторович, 03.03.1986 р.н., ігноруючи забороняючий сигнал світлофору виїхав на залізничні колії, в результаті чого відбулося зіткнення з дизельним потягом № 847, сполученням «Марків-Думи-Боротьба», що потягло за собою травмування 17 осіб, 12 з яких загинули.

14.12.2XXX року о XX год. XX хв. автобус марки СІВ20 «РУ І А» СІ11 сполученням Ганівка-Норівська-Думи, державний номер ВМ 31 98 АА, рухався автодорогою за маршрутом прямування зі с Вілани. В автобусі знаходилося 18 пасажирів та водій Лопатка Віктор Іванович. О 16 годині 55 хвилини водій виїхав на залізничний переїзд 22 км +463 м перегону Амбари - Нори Думської дирекції залізничних перевезень Умовної залізниці на забороняюче показання переїзного світлофору, де був збитий дизель-поїздом.

У цей же час зі швидкістю 82 км/год. до переїзду наближався дизель-поїзд м 847 ДР-1А-425 у складі 6 вагонів, приписки РПЧ-2, під управлінням локомотивної бригади РПЧ-4, машиніст Марченко Андрій Вікторович, помічник машиніста Гіщенко Євген Леонідович, сполученням Марків – Боротьба. При під'їзді до переїзду локомотивна бригада побачила, що автобус, під'їжджаючи до переїзду, не зупинився і продовжив рух на переїзд, не зважаючи на сигнали великої гучності, що подавала локомотивна бригада. За 50 м машиніст застосував екстрене гальмування (підтверджується розшифруванням швидкостемірної стрічки), але уникнути зіткнення не вдалося, оскільки розрахунковий гальмівний шлях становив 498 м. Фактичний гальмівний шлях склав близько 400 м.

Внаслідок зіткнення автобус було розірвано на дві частини, друга частина автобуса знаходилась у місці зупинки дизель-поїзда за 342 метри від місця зіткнення”.

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		21

Відповідно до *Акту огляду кабіни керування дизель-поїзда 425 (3) поїзда 847 Марків-Боротьба від 04.02.2014 р.*, „ручка крана машиніста ум №334Е знаходилась у V положенні (екстрене гальмування); контролер машиніста, набору позицій знаходився у положенні «0»; реверсивна рукоятка контролера машиніста знаходилась у нейтральному положенні; ЕПК опломбовано”.

Відповідно до *Пояснення машиніста дизель-поїзда Марченко А.В.*, „слідуючи по перегону Амбари Нори при під'їзді до переїзду 23 км побачив маршрутне таксі марки «Газель», що під'їжджало. Мною подавалися сигнали великої гучності. Під час під'їзду до переїзду побачив, що маршрутка не зупинилася та продовжила рух на переїзд. Негайно застосував екстрене гальмування, продовжуючи подавати сигнали великої гучності. Швидкість на момент зіткнення 82-84 км/год. Час зупинки 14 год 52 хв. Про те, що сталося, було повідомлено ДСП ст. Нори. РПЧД-Адаменко. РПЧМІ-Шевченка. Було вжито заходів щодо закріплення складу та надання допомоги постраждалим”.

Відповідно до *Пояснення пом. маш. дизель-поїзда Міщенко Е.Л.*, „слідуючи по перегону Амбари-Нори при під'їзді до переїзду 23 км побачив маршрутне таксі типу «Газель», що під'їжджало, нами подавалися сигнали великої гучності. Під час під'їзду до переїзду побачив, що маршрутка не зупинилася та продовжила рух на переїзд. Машиніст відразу застосував екстрене гальмування, продовжуючи подавати сигнали великої гучності. Швидкість була на момент зіткнення 82-84 км/год. Час зупинки 14 год 52 хв. Про те, що сталося, було повідомлено ДСП ст. Нори. РПЧД-Адаменко. РПЧМІ-Шевченка. Було вжито заходів щодо закріплення складу та надання допомоги постраждалим”.

Відповідно до *Протоколу оперативної наради при виконуючому обов'язки начальника моторвагонного депо*, „... при слідуванні поїзда № 847, дизель - поїзд ДР1А 425(1/3) приписки моторвагонного депо ... сполученням Марків Пас - Боротьба під керуванням локомотивної бригади моторвагонного депо ... у складі машиніста дизель - поїзда Марченко Андрія Вікторовича (1959 року народження, 2-й клас кваліфікації, стаж роботи на посаді машиніста дизель - поїзда 2 роки 2

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		22

місяці), та помічника машиніста дизель - поїзда Міщейко Євгена Леонідовича (1979 року народження, стаж роботи на посаді помічника машиніста дизель - поїзда 1 рік 3 місяці), на перегоні Амбари - Нори, переїзд 23 км пк 5 о 14 годині 52 хвилини при швидкості руху 82 км/годину допущено зіткнення дизель - поїзда з маршрутним автобусом марки «Рута». Гальмівний шлях склав 350 метрів, (згідно розрахунку гальмівний шлях при швидкості 82 км/годину не повинен перевищувати 498 метрів).

Даний випадок допущений при наступних обставинах:

Поїзд № 847 ДР1А 425(1/3) сполученням Марків Пас - Боротьба під керуванням локомотивної бригади моторвагонного депо ... у складі машиніста дизель - поїзда Марченко А.В. та помічника машиніста дизель - поїзда Гіщенко Є.Л. - явка на роботу 04.02.2014 року на 10 годин 00 хвилин. Після отримання маршрутного листа, ознайомлення з оперативною інформацією перед поїздкою та проходження передрейсовго медичного огляду у здоровпункті депо, відправились на станцію Неділін де виконали заміну локомотивної бригади згідно графіку роботи. Після перевірки дії автогальм поїзд 847 відправився із станції Неділін о 10 годині 45 хвилин, згідно розкладу рух. При слідуванні по дільниці зауважень щодо роботи дизель - поїзда не було. На станцію Головашівка поїзд приймався по реєструючому наказу чергового по станції (наказ № 1 ДСП Федоткин). Затримка поїзда по прослідуванні станції Амбари склала 16 хвилин понад графікового часу. При подальшому слідуванні по дільниці Амбари - Нори та наближенні до не охороняючого переїзду 23 км пк 5 локомотивна бригада побачила що з лівого боку до переїзду наближається маршрутний автобусом марки «Рута». Локомотивна бригада неодноразово подавала сигнали великої гучності, проте побачивши що водій не зупинив транспортний засіб у встановленому місці і продовжив рух на переїзд при заборонених показаннях світової та звукової сигналізації переїзду, машиніст о 14 годині 50 хвилин на 23 км пк 4 негайно застосував екстрене гальмування з неперервною подачею звукового сигналу великої гучності а також подаючи пісок під колісні пари дизель - поїзда. Із - за малої відстані 50-60 метрів

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		23

до переїзду, зіткнення уникнути не вдалося. Гальмівний шлях склав 350 метрів. Після зіткнення поїзд № 847 зупинився на 25 км пк 1. На момент зіткнення світова та звукова сигналізації працювали справно. Про даний випадок локомотивна бригада доповіла черговій по станції Нори, черговому по депо ... та машиністу – інструктору.

Комісією оглянуто стан дизель - поїзда, в результаті чого складений «Акт первинного огляду дизель поїзда», в якому відобразили пошкодження завдані при зіткненні”.

Відповідно до *Протоколу наради при начальнику Умовної залізниці*, „ автобус марки СПВ20 «РУТА» СПГ сполученням Ганівка -Норівська - Думи, державний номер ВМ 31 98 АА, рухався автодорогою О 190102. В автобусі знаходилось 18 пасажирів та водій. О 14 год, 52 хв. водій виїхав на залізничний переїзд 22 км +463 м перегону Амбари - Нори Думської дирекції залізничних перевезень Умовної залізниці на забороняюче показання переїзного світлофора, де був збитий дизель-поїздом.

У цей же час зі швидкістю 82 км/год. до переїзду наближався поїзд № 847 ДР-1А-425 у складі 6 вагонів, приписки РПЧ-2, під управлінням локомотивної бригади РПЧ-4, сполученням Марків - Боротьба, при під’їзді до переїзду локомотивна бригада побачила, що автобус, під’їжджаючи до переїзду, не зупинився і продовжив рух на переїзд, не зважаючи на сигнали великої гучності, що подавала локомотивна бригада. За 50 м. до місця зіткнення машиніст застосував екстрене гальмування (підтверджується розшифруванням швидкостемірної стрічки), але уникнути зіткнення не вдалося, оскільки розрахунковий гальмівний шлях становив 498 м. Фактичний гальмівний шлях склав близько 400 м.

Унаслідок зіткнення автобус було розірвано на дві частини, передня частина автобуса (кабіна водія) знаходилась за 89 метрів від місця зіткнення, а друга частина автобуса знаходилась в місці зупинки дизель-поїзда за 342 метри від місця зіткнення”.

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		24

Відповідно до *Протоколу проведення слідчого експерименту*, машиніст, при під'їзді до переїзду подавав звукові сигнали у місці, де встановлений сигнальний знак та у момент, коли побачив маршрутне таксі. Машиніст бачив, що маршрутка наближалась до переїзду з «хорошою» швидкістю. При під'їзді до переїзду маршрутка пригальмувала і почала рух на переїзд. Машиніст відразу застосував екстрене гальмування. У цей момент передня частина дизель-поїзда знаходилась на відстані 50 м до залізничного переїзду.

Машиніст застосував екстрене гальмування та подав сигнал великої гучності одночасно.

Зіткнення відбулося по центру маршрутки.

Машиніст на автомобілях не їздить. З його слів, до переїзду маршрутне таксі під'їжджало зі швидкістю 50...60 км/год. Машиніст подумав, що маршрутне таксі зупиниться перед світлофором. Коли машиніст побачив, що маршрутка їде на переїзд, то застосував екстрене гальмування. Екстрене гальмування зі слів машиніста було застосовано при швидкості „десь 82 км/год”.

При вимірюванні відстані встановлено, що відстань від локомотива до місця зіткнення у момент застосування машиністом екстреного гальмування склала 53,3 м.

Довжина від місця зіткнення до місця, на яке машиніст показав як на місце зупинки голови поїзда склала 317,37 м.

Також була виміряна відстань від місця зіткнення на осі залізничної колії до місця удару на кузові маршрутного таксі у момент, коли маршрутне таксі знаходилось у положенні, у якому машиніст застосував екстрене гальмування. Вказана відстань склала 13,2 м.

Зі слів машиніста, швидкість руху маршрутного таксі після проїзду світлофора до моменту зіткнення складала 5..7 км/год.

Відповідно до *Протоколу проведення слідчого експерименту з підозрюваним із застосуванням відеозапису та фотозйомки* підозрюваний (водій автомобіля) показав, що при під'їзді безпосередньо до світлофора швидкість руху

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		25

була приблизно 30 км/год. Коли водій побачив поїзд (будучи уже на переїзді) його швидкість руху була у межах від 5 до 10 км/год.

Проведемо верифікацію відомостей, які наведені вище. З цією метою встановимо розрахунковий зупиночний та гальмівний шлях дизель-поїзда ДР1А №425.

Методика розрахунку зупиночного та гальмівного шляху наведена у [3, 21, 22]. Умовні позначення, які використовуються у розрахунку, наведені у табл. І.

Таблиця І – Умовні позначення

Позна-чення	Одиниця вимірювання	Назва
s_0	м	Зупиночний шлях
s_p	м	Шлях реагування
s_r	м	Гальмівний шлях
$s_{п}$	м	Шлях підготовки гальм до дії
s_d	м	Дійсний гальмівний шлях
v_0	км/год	Початкова швидкість гальмування
$t_{п}$	с	Час підготовки гальм до дії
i	‰	Крутизна ухилу
b_r	кгс/тс	Питома гальмівна сила
$\varphi_{кр}$		Розрахунковий коефіцієнт тертя гальмівних накладок по диску
ϑ_p		Розрахунковий гальмівний коефіцієнт дизель-поїзда
v	км/год	Швидкість руху дизель-поїзда
$K_p^{мот}$	тс	Розрахункове натиснення гальмівник колодок на вісь моторного вагону дизель-поїзда

Позна- чення	Одиниця вимірю- вання	Назва
$K_p^{\text{пр}}$	тс	Розрахункове натиснення гальмівник колодок на вісь причіпного вагону дизель-поїзда
$n^{\text{мот}}$		Сумарна кількість гальмівних осей у моторних вагонах
$n^{\text{пр}}$		Сумарна кількість гальмівних осей у причіпних вагонах
Q	тс	Облікова вага дизель-поїзда
P	тс	Вага людей у дизель-поїзді
$v_{\text{п}}$	км/год	Початкова швидкість у i -ому інтервалі
$v_{\text{к}}$	км/год	Кінцева швидкість у i -ому інтервалі
$v_{\text{ср}}$	км/год	Середня швидкість у i -ому інтервалі
ζ	км/год ²	Сповільнення поїзда від дії питомої сповільнюючої сили
c	кгс/тс	Повна питома сповільнюючи сила
w_x	кгс/тс	Питомий опір руху дизель-поїзда у режимі гальмування
w_i	кгс/тс	Питомий опір руху дизель-поїзда від ухилу колії
w_r	кгс/тс	Питомий опір руху дизель-поїзда від кривої
w'_0	кгс/тс	Питомий опір руху дизель-поїзда у режимі тяги
w_3	кгс/тс	Питомий опір руху механічної трансмісії дизель-поїзда
$n_{\text{м}}$		Кількість моторних вагонів у дизель-поїзді
$n_{\text{в}}$		Загальна кількість вагонів у дизель-поїзді
R	м	Радіус кривої

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		27

Позна-чення	Одиниця вимірювання	Назва
g	м/с ²	Прискорення вільного падіння
t_p	с	Час реагування машиніста на перешкоду, що приймається для розрахунків
t_0	с	Час реагування машиніста на перешкоду в умовах пильнування (згідно лабораторних досліджень)
t_y	с	Час реагування машиніста на перешкоду в умовах втомлення (згідно даних лабораторних досліджень)
k_1		Коефіцієнт, що характеризує відношення часу реакції в умовах втомлення до часу реакції в умовах пильності.
k_2		Коефіцієнт, що враховує вплив на втомлюваність нервової системи, монотонності роботи, неоптимального теплового режиму, шумів та ін
k_3		Коефіцієнт, що враховує вплив на втомлюваність нервової системи вібрацій
S	м	Довжина елемента профілю

Зупиночний шлях поїзда визначається за формулою:

$$s_0 = s_p + s_r, \quad (2.1)$$

Величина гальмівного шляху приймається рівною Думі шляху підготовки гальм до дії та дійсного шляху гальмування

$$s_r = s_{\pi} + s_d. \quad (2.12)$$

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		28

Шлях підготовки гальм до дії визначається за формулою

$$s_{\text{п}} = 0,278 \ v_0 \ t_{\text{п}}. \quad (2.3)$$

Час підготовки гальм до дії пасажирських поїздів при електропневматичному гальмуванні визначається за формулами:

$$t_{\text{п}} = 2 - \frac{3i}{b_{\text{т}}}. \quad (2.4)$$

Питома гальмівна сила буде дорівнювати

$$b_{\text{т}} = 1000 \varphi_{\text{кр}} \mathcal{G}_{\text{р}}. \quad (2.5)$$

Розрахунковий коефіцієнт тертя накладок гальмівних колодок по чавунному гальмівному диску визначимо за формулою :

$$\varphi_{\text{кр}} = 0,27 \frac{v+100}{5v+100}. \quad (2.6)$$

Розрахунковий гальмівний коефіцієнт дизель-поїзда визначається за виразом

$$\mathcal{G}_{\text{р}} = \frac{\sum_{i=1}^n K_{\text{pi}}}{Q+P}. \quad (2.7)$$

Дійсний шлях гальмування визначається за формулою

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		29

$$s_{\text{д}} = \sum_{i=1}^n \frac{500(v_{\text{ni}}^2 - v_{\text{ki}}^2)}{\zeta c}. \quad (2.8)$$

Повна питома сповільнююча сила у даному випадку визначиться за формулою

$$c = b_{\text{г}} + w_{\text{х}} + w_{\text{і}} + w_{\text{р}}. \quad (2.9)$$

Питомий опір руху дизель-поїзда у режимі гальмування

$$w_{\text{х}} = w'_0 + w_3, \quad (2.10)$$

$$w'_0 = 1,1 + 0,01 \cdot v + \left(0,000167 + \frac{0,000461}{n_{\text{в}}} \right) v^2; \quad (2.11)$$

$$w_3 = (0,47 + 0,014 \cdot v) \frac{n_{\text{м}}}{n_{\text{в}}}. \quad (2.12)$$

Додатковий опір руху дизель-поїзда від кривої:

$$w_{\text{р}} = \frac{700}{R}, \quad (2.13)$$

Питомий опір руху від ухилу розраховується за формулою

$$w_{\text{і}} = i, \quad (2.14)$$

Шлях реагування визначимо за методикою, що викладена у [3].

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		30

$$s_p = 0,278v_0t_p, \quad (2.15)$$

Визначення часу реакції машиніста проведемо за рекомендаціями [7] по виразу

$$t_p = t_0k_3(1 + k_2(k_1 - 1)), \quad (2.16)$$

$$k_1 = \frac{t_y}{t_0}. \quad (2.17)$$

Проведемо розрахунок теоретичного гальмівного та зупиночного шляху дизель-поїзда ДР1А №287 та порівняємо його з фактичним. Для розрахунку приймемо наступні вихідні дані: $v_0 = 84$ км/год; $K_p^{\text{мот}} = 10$ тс; $K_p^{\text{нр}} = 8$ тс; $n^{\text{мот}} = 8$; $n^{\text{нр}} = 16$; $Q = 352$ тс; $P = 27 \cdot 80 \cdot 10^{-3} = 2,16$ тс; $\zeta = 116$ км/год²; $n_m = 2$; $n_b = 6$; $R = 873$ м; $i = 7,8$ ‰; $t_0 = 0,414$ с; $t_y = 0,448$ с; $k_2 = 1,25$; $k_3 = 1,15$.

Спочатку визначимо час та шлях реагування машиніста на перешкоду.

$$k_1 = \frac{0,448}{0,414} = 1,08;$$

$$t_p = 0,414 \cdot 1,15(1 + 1,25(1,08 - 1)) = 0,524 \text{ с};$$

$$s_p = 0,278 \cdot 84 \cdot 0,524 = 12,2 \text{ м}.$$

Таким чином, шлях, який пройшов дизель-поїзд за час реагування машиніста на перешкоду, склав 12,2 м.

Тепер визначимо шлях підготовки гальм до дії.

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		31

$$g_p = \frac{10 \cdot 8 + 8 \cdot 16}{352 + 2,16} = 0,587 ;$$

$$\varphi_{кр} = 0,27 \frac{84 + 100}{5 \cdot 84 + 100} = 0,0955 ;$$

$$b_r = 1000 \cdot 0,0955 \cdot 0,587 = 56,08 \text{ кгс/тс};$$

$$t_{п} = 2 - \frac{3 \cdot 7,8}{56,08} = 1,58 \text{ с};$$

$$s_{п} = 0,278 \cdot 84 \cdot 1,58 = 37,0 \text{ м.}$$

Таким чином, шлях, який пройшов дизель-поїзд за час підготовки гальм до дії склав 37 м.

Розрахуємо дійсний гальмівний шлях. Розрахунок проведемо за інтервалами швидкості. Наведемо детальний розрахунок для інтервалу швидкості 84-82 км/год ($v_{п} = 84$ км/год, $v_{к} = 82$ км/год; $v_{ср} = 83$ км/год).

$$\varphi_{кр} = 0,27 \frac{83 + 100}{5 \cdot 83 + 100} = 0,0959 ;$$

$$b_r = 1000 \cdot 0,0959 \cdot 0,587 = 56,32 \text{ кгс/тс};$$

$$w'_0 = 1,1 + 0,01 \cdot 83 + \left(0,000167 + \frac{0,000461}{6} \right) \cdot 83^2 = 3,61 \text{ кгс/тс};$$

$$w_3 = (0,47 + 0,014 \cdot 83) \frac{2}{6} = 0,544 \text{ кгс/тс};$$

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		32

$$w_x = 3,61 + 0,544 = 4,154 \text{ кгс/тс};$$

$$w_r = \frac{700}{873} = 0,802 \text{ кгс/тс};$$

$$w_i = 7,8 \text{ кгс/тс};$$

$$c = 56,32 + 4,154 + 7,8 + 0,802 = 69,08 \text{ кгс/тс};$$

$$s_d = \frac{500(84^2 - 82^2)}{116 \cdot 69,08} = 20,7 \text{ м.}$$

Подальші розрахунки зведемо до табл. II.

$$s_d = \sum_{i=1}^n s_{di} = 388,29 \text{ м.}$$

Таким чином, дійсний шлях гальмування дизель-поїзда складає $s_d = 388,29 \text{ м.}$

Гальмівний шлях дизель-поїзда складає

$$s_r = 37 + 388,29 = 425,29 \text{ м.}$$

Зупиночний шлях дизель-поїзда складає

$$s_0 = 425,29 + 12,2 = 437,5 \text{ м.}$$

Порівняємо розраховані значення зупиночного та гальмівного шляху ($s_r = 425,29 \text{ м}; s_0 = 437,5 \text{ м}$) зі значенням фактичного гальмівного шляху, який відображений у матеріалах, що надані на дослідження ($317,37 + 53,3 = 370,67 \text{ м} -$

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		33

згідно даних, що отримані при слідчому експерименті, 350...400 м – згідно інших матеріалів, що надані на дослідження (див. вище). Відхилення у розрахунковому та фактичному гальмівному шляху складає 25,29...75,29 м і може бути пояснене втратою швидкості дизель-поїзда внаслідок зіткнення з маршрутним таксі і подальшого його переміщення по рейко-шпальній решітці. Методика врахування зниження швидкості поїзда внаслідок зіткнення відсутня.

Таблиця II – Розрахунок дійсного гальмівного шляху дизель-поїзда ДР1А №847 на ділянці після залізничного переїзду (ухил +7,8‰)

v_n , км/год	v_k , км/год	v_{cp} , км/год	w'_0 , кгс/тс	w_3 , кгс/тс	w_x , кгс/тс	$\varphi_{кр}$	$s_{ди}$
84	82	83	3,610	0,544	4,154	0,096	20,71
82	80	81	3,510	0,535	4,044	0,097	20,10
80	78	79	3,412	0,525	3,937	0,098	19,49
78	76	77	3,316	0,516	3,832	0,099	18,88
76	74	75	3,222	0,507	3,728	0,099	18,28
74	72	73	3,129	0,497	3,627	0,100	17,67
72	70	71	3,039	0,488	3,527	0,101	17,07
70	68	69	2,951	0,479	3,430	0,103	16,47
68	66	67	2,865	0,469	3,334	0,104	15,86
66	64	65	2,780	0,460	3,240	0,105	15,27
64	62	63	2,698	0,451	3,148	0,106	14,67
62	60	61	2,617	0,441	3,059	0,107	14,08
60	58	59	2,539	0,432	2,971	0,109	13,49
58	56	57	2,462	0,423	2,885	0,110	12,91
56	54	55	2,388	0,413	2,801	0,112	12,32
54	52	53	2,315	0,404	2,719	0,113	11,75
52	50	51	2,244	0,395	2,639	0,115	11,17
50	48	49	2,175	0,385	2,561	0,117	10,61
48	46	47	2,109	0,376	2,485	0,118	10,05
46	44	45	2,044	0,367	2,410	0,120	9,49
44	42	43	1,981	0,357	2,338	0,123	8,94
42	40	41	1,920	0,348	2,268	0,125	8,40
40	38	39	1,861	0,339	2,200	0,127	7,86
38	36	37	1,804	0,329	2,133	0,130	7,34
36	34	35	1,749	0,320	2,069	0,133	6,82
34	32	33	1,696	0,311	2,006	0,136	6,31
32	30	31	1,644	0,301	1,946	0,139	5,81

v_n , км/год	v_k , км/год	v_{cp} , км/год	w'_0 , кгс/тс	w_3 , кгс/тс	w_x , кгс/тс	$\varphi_{кр}$	$s_{ди}$
30	28	29	1,595	0,292	1,887	0,142	5,32
28	26	27	1,548	0,283	1,830	0,146	4,84
26	24	25	1,502	0,273	1,776	0,150	4,38
24	22	23	1,459	0,264	1,723	0,154	3,92
22	20	21	1,418	0,255	1,672	0,159	3,49
20	18	19	1,378	0,245	1,623	0,165	3,06
18	16	17	1,340	0,236	1,576	0,171	2,65
16	14	15	1,305	0,227	1,532	0,177	2,26
14	12	13	1,271	0,217	1,489	0,185	1,89
12	10	11	1,240	0,208	1,448	0,193	1,53
10	8	9	1,210	0,199	1,408	0,203	1,20
8	6	7	1,182	0,189	1,371	0,214	0,89
6	4	5	1,156	0,180	1,336	0,227	0,60
4	2	3	1,132	0,171	1,303	0,242	0,34
2	0	1	1,110	0,161	1,272	0,260	0,11

Іншими словами, покази машиніста у частині застосування гальм приблизно за 50 м до залізничного переїзду *не суперечать* розрахунковому та фактичному гальмівному шляху дизель-поїзда при гальмуванні з початкової швидкості 84 км/год, тобто положення дизель-поїзда у момент початку екстреного гальмування (50...53,3 м до місця зіткнення на залізничному переїзді), розрахунковий гальмівний шлях, фактичний гальмівний шлях та швидкість руху дизель-поїзда, яка зафіксована на швидкостемірній стрічці (84 км/год) узгоджуються між собою.

Проаналізуємо тепер взаємне розташування та рух транспортних засобів з моменту початку гальмування дизель-поїзда.

При швидкості руху 84 км/год (23,33 м/с) відстань 50...53,3 м (з моменту за діяння гальм) дизель-поїзд пройшов за

$$(50...53,3)/23,33 = 2,14...2,28 \text{ с.}$$

За цей же час, згідно даних, що отримані при слідчому експерименті автобус пройшов відстань 13,2 м. Тоді швидкість руху автобуса склала $13,2/(2,14...2,28) =$

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		35

6,17...5,79 м/с (22,2...20,8 км/год). Це не узгоджується з показами машиніста про швидкість руху автобуса 5...7 км/год по залізничному переїзду та з показами водія про швидкість руху 5...10 км/год.

Якщо ж автобус дійсно рухався зі швидкістю 5..10 км/год (1,39...2,78 м/с) то за час 2,14...2,28 с автобус пройшов відстань 2,97...6,34 м, що не узгоджується з розташуванням автобуса у момент застосування екстреного гальмування дизель-поїзда, яке вказано машиністом.

Також необхідно відзначити, що машиніст дизель-поїзда №847 на запитання слідчого «Ви самі водій автомобіля?» надав відповідь «сам я на машинах не їжджу». Крім того, машиніст поїзда вказав, що маршрутне таксі їхало до переїзду зі швидкістю 50...60 км/год, Водій автомобіля вказав, що він рухався до переїзду зі швидкістю 30 км/год. ***Причому спочатку машиніст не міг вказати швидкість, з якою маршрутне таксі рухалось через переїзд, а потім вказав, що швидкість руху маршрутного таксі була «десь 5-7 км/год. Я не можу так точно сказати».***

Таким чином, на основі матеріалів, які надані на дослідження, неможливо достовірно встановити, на якій відстані від осі непарної залізничної колії, по якій рухався дизель-поїзд №847 знаходилось маршрутне таксі у момент початку екстреного гальмування дизель-поїзда, оскільки дані про швидкість руху маршрутного таксі та його місцеположення є суперечливими.

Проаналізуємо вимоги пунктів 16.39 Правил [15] та 10.1.21 Інструкції [16], тексти яких наведені вище. Пункт 16.39 Правил [15] передбачає застосування екстреного гальмування для зупинки поїзда у разі раптового виникнення *перешкоди*. Пункт 10.1.21 Інструкції [16] передбачає застосування екстреного гальмування *лише тоді*, коли потрібно негайно зупинити поїзд.

Тобто, саме наявність *перешкоди на колії* є тією ознакою, за якою машиніст повинен застосовувати екстрене гальмування. Розглянемо загальні поняття про залізничну колію.

Габаритом рухомого складу називається граничний поперечний

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		36

(перепендикулярний до осі колії) контур, за межі якого не мають виходити рухомий склад (новий та гранично зношений) і будь-які його вузли та деталі, як в завантаженому, так і в порожньому стані під час знаходження на прямій горизонтальній ділянці колії, за виключенням бокового нахилу на ресорах [23]. Іншими словами, перебування будь-якого матеріального об'єкту у межах габариту рухомого складу може призвести до взаємодії цього об'єкту з частинами рухомого складу.

Іншими словами, об'єкт (автомобіль, людина, предмет) стає перешкодою для руху, якщо він перебуває у *габариті рухомого складу*.

Дизель-поїзд ДР1А побудований за габаритом 1ВМ [24, 25]. Граничні обриси даного габариту наведені на рис. 3.

Тобто, на відстані $3,4/2 = 1,7$ м від осі колії проходить та межа, при перетині якої відбулася б взаємодія виступаючих частин дизель-поїзда з маршрутним таксі.

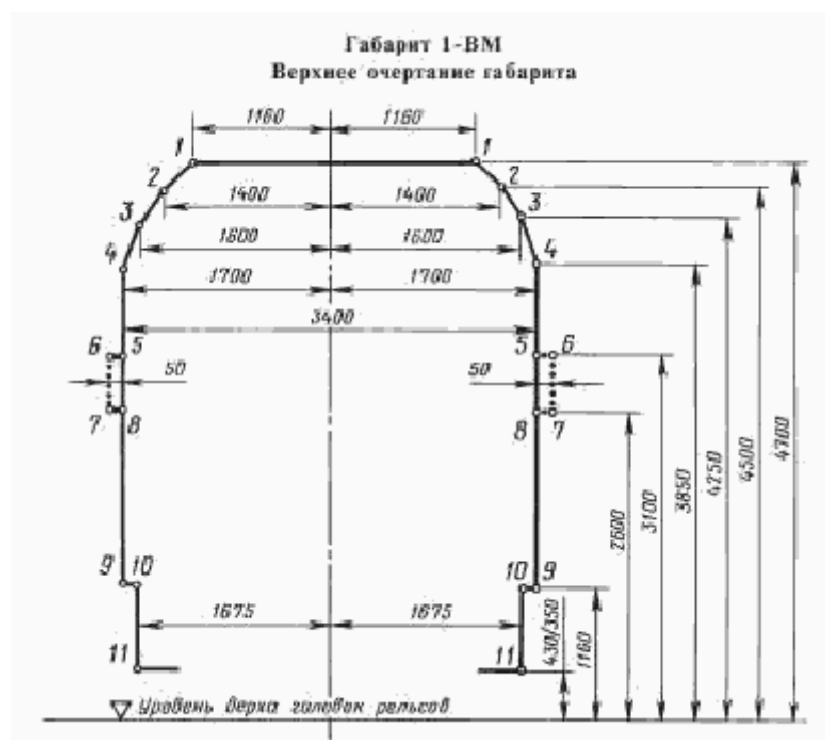


Рисунок 3 – Габарит рухомого складу 1ВМ

Як уже було відзначено вище, у результаті проведених досліджень неможливо достовірно встановити, на якій відстані від осі непарної залізничної

колії, по якій рухався дизель-поїзд №847 знаходилось маршрутне таксі у момент початку екстреного гальмування дизель-поїзда. У зв'язку з цим вирішимо обернену задачу – встановимо швидкість, з якою мало б рухатись маршрутне таксі при умові, що машиніст застосував екстрене гальмування у момент перетину передньою частиною маршрутного таксі межі габариту.

Відстань, яку мав пройти автомобіль у цьому випадку, буде становити:

$$1,7+(13,2-9,4)=5,5 \text{ м,}$$

де $13,2-9,4 = 3,8 \text{ м}$ – відстань від переднього (по ходу руху) краю маршрутного таксі до місця удару автозчепа на його боковій частині.

Згідно досліджень, результати яких наведені вище, час підходу поїзда з місця застосування гальм до місця зіткнення склав $2,14...2,28 \text{ с}$. З врахуванням часу реакції машиніста ($0,524 \text{ с}$) цей час склав $2,664...2,804 \text{ с}$. Це означає, що швидкість руху маршрутного таксі у даному випадку мала б становити

$$5,5/(2,664...2,804)=2,06...1,96 \text{ м/с } (7,42...7,056\approx 7,06 \text{ км/год}).$$

Тобто, при швидкості руху маршрутного таксі $7,06...7,42 \text{ км/год}$ співпадає час підходу дизель поїзда та час підходу маршрутного таксі до місця зіткнення при умові, що машиніст відреагував на перешкоду для руху у момент перетину передньою частиною маршрутного таксі лінії габариту рухомого складу. Якщо фактична швидкість маршрутного таксі була нижчою, ніж $7,06...7,42 \text{ км/год}$ то це означає, що машиніст відреагував на перешкоду для руху *після* в'їзду маршрутного таксі у межі габариту (виникнення перешкоди для руху) і його дії *не відповідали* вимогам пункту 16.39 Правил [15] та пункту 10.1.21 Інструкції [16] у частині негайного застосування екстреного гальмування при виникненні перешкоди для руху. Якщо ж фактична швидкість маршрутного таксі була вищою

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		38

ніж 7,05...7,41 км/год, то це означає, що машиніст відреагував на перешкоду для руху до в'їзду маршрутного таксі у межі габариту (виникнення перешкоди для руху) і його дії *відповідали* вимогам пункту 16.39 Правил [15] та пункту 10.1.21 Інструкції [16] у частині негайного застосування екстреного гальмування при виникненні перешкоди для руху.

Таким чином, на основі проведених досліджень можна стверджувати, що дії машиніста відповідали вимогам пунктів 16.38 Правил [15] – у частині стеження за вільністю колії; пункту 16.40 Правил [15], пункту 3.1 Інструкції [17] – у частині дотримання встановленої швидкості руху.

Встановити відповідність дій машиніста вимогам пункту 16.39 Правил [15], пункту 10.1.21 Інструкції [16] у частині застосування екстреного гальмування для зупинки поїзда при виникненні перешкоди для руху **за матеріалами, що надані на дослідження неможливо, оскільки дані про швидкість руху маршрутного таксі та його місцеположення у момент застосування машиністом екстреного гальмування є суперечливими.**

Особливістю зіткнень на залізничному транспорті є те, що рухомий склад залізниць рухається за визначеним маршрутом рейковими направляючими, і можливість запобігти зіткненню полягає лише у використанні засобів гальмування (у зменшенні швидкості руху). Запобігти зіткненню шляхом обгону чи відвороту від заданого напрямку руху неможливо. Іншими словами, рухомий склад залізниць, на відміну від автотранспортних засобів, має *обмежену маневреність*.

Для запобігання зіткненню потрібно виконання двох умов: необхідної та достатньої [26].

Необхідною умовою у даному випадку є прийняття (здійснення) заходів щодо зупинки поїзда (застосування гальм).

Достатньою умовою є задоволення, у момент виникнення небезпеки зіткнення, наступної нерівності

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		39

$$s_0 < X, \quad (2.18)$$

де s_0 - зупиночний шлях дизель-поїзда; X – відстань до перешкоди у момент виникнення небезпеки зіткнення.

Необхідно відзначити, що і в спрацюванні, і у відмові спрацювання механізму транспортної пригоди певну роль відіграє «людський» фактор.

У багатьох транспортних пригодах, які пов'язані з зіткненнями транспортних засобів, роль «людського» фактору носить активний характер. Ефективні та кваліфіковані дії «людського фактору» сприяють запобіганню зіткненню. Неефективні та некваліфіковані дії «людського» фактору у небезпечній транспортній ситуації сприяють зіткненню; формування ж механізму пригоди відбувається у досить стислі часові терміни (хвилини, секунди).

Встановимо величину зупиночного шляху дизель-поїзда ДР1А № 425 на ділянці підходу до залізничного переїзду, крутизна ухилу на якій, згідно *плану ділянки колії 1000 м до переїзду та 500 м після* складає 4,3 ‰.

Методика розрахунку гальмівного та зупиночного шляху наведена у відповіді на питання друге постанови слідчого. Для розрахунку приймемо наступні вихідні дані: $v_0 = 84$ км/год; $K_p^{\text{мот}} = 10$ тс; $K_p^{\text{пр}} = 8$ тс; $n^{\text{мот}} = 8$; $n^{\text{пр}} = 16$; $Q = 352$ тс; $P = 27 \cdot 80 \cdot 10^{-3} = 2,16$ тс; $\zeta = 116$ км/год²; $n_m = 2$; $n_b = 6$; $R = 873$ м; $i = 4,3$ ‰; $t_0 = 0,414$ с; $t_y = 0,448$ с; $k_2 = 1,25$; $k_3 = 1,15$.

Визначимо час та шлях реагування машиніста на перешкоду.

$$k_1 = \frac{0,448}{0,414} = 1,08;$$

$$t_p = 0,414 \cdot 1,15(1 + 1,25(1,08 - 1)) = 0,524 \text{ с};$$

$$s_p = 0,278 \cdot 84 \cdot 0,524 = 12,2 \text{ м}.$$

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		40

Таким чином, шлях, який пройшов дизель-поїзд за час реагування машиніста на перешкоду, склав 12,2 м.

Тепер визначимо шлях підготовки гальм до дії.

$$g_p = \frac{10 \cdot 8 + 8 \cdot 16}{352 + 2,16} = 0,587 ;$$

$$\varphi_{кр} = 0,27 \frac{84 + 100}{5 \cdot 84 + 100} = 0,0955 ;$$

$$b_r = 1000 \cdot 0,0955 \cdot 0,587 = 56,08 \text{ кгс/тс};$$

$$t_n = 2 - \frac{3 \cdot 4,3}{56,08} = 1,77 \text{ с};$$

$$s_n = 0,278 \cdot 84 \cdot 1,77 = 41,33 \text{ м.}$$

Таким чином, шлях, який проходить дизель-поїзд за час підготовки гальм до дії складає 41,33 м.

Розрахуємо дійсний гальмівний шлях. Розрахунок проведемо за інтервалами швидкості. Результати розрахунку зведемо до табл. III.

Таблиця III – Розрахунок дійсного шляху гальмування дизель-поїзда ДР1А №847 на ділянці перед залізничним переїздом (ухил +4,3‰)

v_n , км/год	v_k , км/год	v_{cp} , км/год	w'_0 , кгс/тс	w_3 , кгс/тс	w_x , кгс/тс	$\varphi_{кр}$	$s_{ди}$
84	82	83	3,610	0,544	4,154	0,096	21,81
82	80	81	3,510	0,535	4,044	0,097	21,17
80	78	79	3,412	0,525	3,937	0,098	20,52
78	76	77	3,316	0,516	3,832	0,099	19,87

v_n , КМ/ГОД	v_k , КМ/ГОД	v_{cp} , КМ/ГОД	w'_0 , КГС/ТС	w_3 , КГС/ТС	w_x , КГС/ТС	$\varphi_{кр}$	$s_{ди}$
76	74	75	3,222	0,507	3,728	0,099	19,23
74	72	73	3,129	0,497	3,627	0,100	18,58
72	70	71	3,039	0,488	3,527	0,101	17,94
70	68	69	2,951	0,479	3,430	0,103	17,30
68	66	67	2,865	0,469	3,334	0,104	16,67
66	64	65	2,780	0,460	3,240	0,105	16,03
64	62	63	2,698	0,451	3,148	0,106	15,40
62	60	61	2,617	0,441	3,059	0,107	14,77
60	58	59	2,539	0,432	2,971	0,109	14,15
58	56	57	2,462	0,423	2,885	0,110	13,53
56	54	55	2,388	0,413	2,801	0,112	12,91
54	52	53	2,315	0,404	2,719	0,113	12,30
52	50	51	2,244	0,395	2,639	0,115	11,69
50	48	49	2,175	0,385	2,561	0,117	11,09
48	46	47	2,109	0,376	2,485	0,118	10,50
46	44	45	2,044	0,367	2,410	0,120	9,91
44	42	43	1,981	0,357	2,338	0,123	9,33
42	40	41	1,920	0,348	2,268	0,125	8,76
40	38	39	1,861	0,339	2,200	0,127	8,20
38	36	37	1,804	0,329	2,133	0,130	7,64
36	34	35	1,749	0,320	2,069	0,133	7,10
34	32	33	1,696	0,311	2,006	0,136	6,56
32	30	31	1,644	0,301	1,946	0,139	6,04
30	28	29	1,595	0,292	1,887	0,142	5,53
28	26	27	1,548	0,283	1,830	0,146	5,03
26	24	25	1,502	0,273	1,776	0,150	4,54
24	22	23	1,459	0,264	1,723	0,154	4,07
22	20	21	1,418	0,255	1,672	0,159	3,61
20	18	19	1,378	0,245	1,623	0,165	3,17
18	16	17	1,340	0,236	1,576	0,171	2,74
16	14	15	1,305	0,227	1,532	0,177	2,33
14	12	13	1,271	0,217	1,489	0,185	1,95
12	10	11	1,240	0,208	1,448	0,193	1,58
10	8	9	1,210	0,199	1,408	0,203	1,23
8	6	7	1,182	0,189	1,371	0,214	0,91
6	4	5	1,156	0,180	1,336	0,227	0,62
4	2	3	1,132	0,171	1,303	0,242	0,35
2	0	1	1,110	0,161	1,272	0,260	0,11

$$s_d = \sum_{i=1}^n s_{ди} = 406,77 \text{ м.}$$

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		42

Таким чином, дійсний шлях гальмування дизель-поїзда складає $s_d = 406,77$ м.

Гальмівний шлях дизель-поїзда складає

$$s_r = 41,33 + 406,77 = 448,1 \text{ м.}$$

Зупиночний шлях дизель-поїзда складає

$$s_0 = 448,1 + 12,2 = 460,3 \text{ м.}$$

Порівнюючи значення супиночного шляху дизель-поїзда $s_0 = 460,3$ м з відстанню до перешкоди у момент виникнення небезпеки зіткнення $X = 50 \dots 53,3$ м, можна стверджувати, що нерівність $s_0 < X$ не виконується

$$460,3 > 50 \dots 53,3 \text{ м,}$$

тобто у машиніста локомотиву не було технічної можливості запобігти даній залізнично-транспортній пригоді у момент виникнення небезпеки зіткнення (в'їзду маршрутного таксі у межі габариту рухомого складу).

2.3 Наїзд на сторонню особу, що знаходилась на колії

Тепер розглянемо випадок наїзду на сторонню особу, що знаходилась на колії. Вказаний випадок є характерним з точки зору сприйняття транспортних ситуацій водієм (машиністом) дрезини у процесі розвитку механізму ЗТП.

Наїзд стався при наступних обставинах (прізвища, імена та по-батькові, назви станцій, залізниць та інші дані змінені): XX.XX.20XX об 11XX годині 30 хвилин до чергової частини лінійного відділу на станції Михальцеве УМВС України на Умовній залізниці по телефону надійшло повідомлення від чергової

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		43

по станції Іванівка ДП «Умовна залізниця» Довгиш М.М. про те, що машиніст дрезини ДГКУ №1223 приписки ПЧ-17 станції Наріз ДП «Умовна залізниця» Іваненко М.Є. на технологічному переході першої колії станції Іванівка ДП «Умовна залізниця» смертельно травмував громадянина Гусева Івана Васильовича, 11.09.1929 року народження, уродженця м. Наріз Умовної області.

Відповідно до *Протоколу допиту свідка Іваненко М. Є.* «...я Іваненко М.Є. заступив на роботу як машиніст дрезини ДГКУ2911. ...я і пом. машиніста Демченка О.В. прямували на дрезині ДГКУ №1223 зі станції Кумшацький до ст.Наріз, у цей час ми проїжджали ст. Насипну Умовної залізниці. зі швидкістю 30 км/год. на 3 зал. колії ст. Іванівка, у районі службового переходу стояли напіввагони. За 30м до цього службового переходу ми побачили чоловіка з велосипедом, який обійшов один із напіввагонів і прямував до службового переходу, щоб пройти 1 та 2 залізничну колію ст. Насипна. Я та помічник машиніста Демченко А.В. подавали попереджувальний звуковий сигнал, але чоловік не зреагував. Після чого коли до нього було 20 м мною було застосовано екстрене гальмування дрезини ДГКУ2911, але уникнути зіткнення з чоловіком не вдалося і задньою лівою стороною дрезини чоловіка було завдано удару, після якого він впав на міжколії 1 і 3 колії, а його велосипед потрапив під дрезину і був пошкоджений. У момент зіткнення поряд із ним нікого не було. Після зупинки дрезини я і прим. машиніста Демченка О.В. вийшли з дрезини і попрямували до травмованого, біля нього перебували двоє жінок. Вони сказали, що він кудись поспішав і їм радив швидше йти. Я став промацувати пульс травмованого чоловіка, але не зміг виявити. У момент зіткнення з чоловіком перебував складач поїздів Мойсевець Василь, який за рацією повідомив чергову за ст. Іванівка факт травмування чоловіка. Через деякий час прибула швидка допомога і медпрацівник зафіксував смерть чоловіка.».

Відповідно до *Протоколу огляду місця*, «В ході огляду вказаного парку було встановлено, що на відстані 6м від службового переходу розташованого зі сторони станції Наріз ДП «Умовна залізниця» ... в між 1-ї та 3-ї залізничної колії

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		44

на відстані 0,5м від правої ниті 1-ї залізничної колії станції Наріз на поверхні землі ... знаходиться труп чоловічої статі В подальшому огляду місця події на поверхні землі на відстані 4,3 метри від трупу внапрямку на станцію Наріз знаходиться слуховий апарат, Також оглядом було встановлено, що на відстані 18 метрів від слухового апарату, у тому ж напрямку в міжпутті 1-ї залізничної колії знаходиться одна половина велосипеда зеленого кольору ... Також в ході огляду місця події було встановлено на відстані 16м в тому ж напрямку на першій колії в навпроти залізобетонного стовпа №5 знаходиться дрезина ДГКУ №2911».

Відповідно до *Протоколу допиту свідка Демченко А. В.* «... я з машиністом Іваненком М.Е. прямували на дрезині ДГКУ 2911 р. до станції Наріз, у цей час ми проїжджали ст. Насипну Умовної залізниці зі швидкістю 30 км/год. на 3 зал. колії ст. Іванівка, у районі службового переходу стояли напіввагони. За 30м до цього службового переходу ми побачили чоловіка з велосипедом, який обійшов один із напіввагонів і попрямував до службового переходу, щоб пройти 1 та 2 залізниці. шлях ст. Насипна. Я та машиніст подавали попереджувальний звуковий сигнал, але чоловік не зреагував. Після цього, коли до нього було 20-м машиністом Іваненко М.Е. було застосовано екстрене гальмування дрезини ДГКУ2911, але уникнути зіткнення з чоловіком не вдалося і задньою лівою стороною дрезини чоловіка було завдано удару, після якого він впав на міжколії 1 і 3 ж.д. шляхи, а його велосипед потрапив під дрезину і був пошкоджений. Після зупинки дрезини я та машиніст Іваненко М.Е. вийшли з дрезини і попрямували до травмованого чоловіка, біля нього перебували двоє жінок. Коли машиніст Іваненко М.Е. став промацувати пульс травмованого чоловіка, то він не міг його виявити. У момент травмування з чоловіком перебував упорядник поїздів, який за рацією повідомив чергового за ст. Іванівка по рації про травмування. Невдовзі прибула швидка допомога і медпрацівник зафіксував смерть чоловіка».

Відповідно до *Протоколу допиту свідка Довгий М.М.*, «о 10.36 годині по радіостанції запиталася дрезина №1223 зі ст. Кумшацький по 1-ій колії знаходу зі швидкістю 30км/год. Після чого мені повідомив по радіостанції складач поїздів

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		45

Мойсевець В.В. про те, що на технологічному переході дрезина збила невідомого чоловіка, про що я повідомила поїзному диспетчеру Карповій В.В. також у швидку медичну допомогу начальнику ст.Насипна.».

Відповідно до *Протоколу допиту свідка Матпа І.В.*, «...я зайшла на технологічний перехід ст. Іванівка, щоб перейти колії, але перейти колії було неможливо, так як стояв склад напіввагонів, переді мною стояв чоловік похилого віку з велосипедом. Після чого вищевказаний склад роз'єднали і чоловік з велосипедом був першим і почав рух по технологічному переходу і в цей час він повернувся до мене і каже швидше переходьте і в цей момент я почула подачу сигналу та побачила залізничну дрезину але чоловік з велосипедом не чув я почала також кричати, що б він зупинився і в цей час чоловіка вдарила дрезина і він упав на міжколії. Дрезина відразу зупинилася до чоловіка підбіг машиніст дрезини і почав оглядати чоловіка і перевіряти пульси як він сказав то пульс не відчувався. Після чого викликали швидку медичну допомогу та повідомили у міліцію...».

Відповідно до *Протоколу допиту свідка Гусева В.В.* від 24.05.2013, «Мій дід Гусев Іван Васильович бив глухуватий і носив слуховий апарат, але іноді й вони йому не допомагали.».

Відповідно до *Справки Нарізької дистанції колії* «Нарізька дистанція колії повідомляє, що спеціальний самохідний рухомий склад (дрезина ДГКу) локомотивними скоростемерами не обладнується відповідно до вимог ПТЕ, а також інструктивних вказівок. Контроль швидкості руху на дрезині ДГК №1223 здійснюється системою безпеки руху АЛС МП.».

Відповідно до *Протоколу оперативної наради Нарізької дистанції колії* «22 травня 2013 року дрезина ДДК №1223 (машиніст Іваненко Н.Є., прим. машиніста Демченко О.В.) прямувала зі ст. Кумшацький на ст. Наріз через ст. Іванівка. О 10 годині 30 хвилин, слідуючи зі швидкістю 30 км на годину. по 1 шляху ст. Іванівка під час під'їзду до службового переходу машиніст Іваненко Н.Є. подав звуковий сигнал. Через вагони, що стоять на 3 колії станції, вийшов чоловік із велосипедом. Не реагуючи на сигнали, він ішов. Машиніст застосував

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		46

екстрене гальмування, почав подавати звукові сигнали, проте на них постраждалий не реагував. Задньою лівою стороною дрезина ДГК зачепила переднє колесо велосипеда. Чоловік не випустив велосипеда з рук. Внаслідок чого Гусева потягло дрезиною і відкинуло на міжколії. Велосипед потрапив під колеса дрезини.

НАРАДА ПОСТАНОВИЛА:

1. Провини машиніста незнімної дрезини ДГКу Іваненко Н.Є., помічника машиніста незнімної дрезини Демченко О.В. ні. Машиніст діяв у відповідності до інструкції ЦШ-0001, ЦП-0273.

2. Потерпілий Гусев перебував у **небезпечній зоні та в небезпечній близькості до рухомого складу.**».

Відповідно до листа ревізора з безпеки руху ревізорської дільниці Михальцівського регіону від 04.06.2013 №508/140 (крим. пр. №12013050910000269, ст. 48), «Причиною травмування гр. Гусева І.В. стали фактори не пов'язані з діями машиніста дрезини ДГКУ №2911, а саме власна необережність потерпілого, його знаходження на коліях ст. Іванівка у **безпосередній близькості** з дрезиною ДГКУ що рухалась, та ігнорування звукових сигналів, що подавав машиніст дрезини ДГКУ при наближенні до нього.».

Для встановлення відповідності дій членів локомотивної бригади дрезини ДГКу №1223 22.05.2013 на ст. Іванівка вимогам нормативних документів, що діють на залізничному транспорті виконаємо розрахунок зупиночного шляху дрезини ДГКУ №1223 при застосуванні екстреного гальмування.

Розрахунки виконаємо згідно [3, 21, 22, 27-29] за методом розрахунку за інтервалами часу та за розрахунковими значеннями коефіцієнта зчеплення коліс з рейками $\phi_{кр}$ та сили натиснення калмівних колодок K_p .

Необхідно зазначити, що відповідно до *Постанови про закриття кримінального провадження*, «Слідчий... .. ВСТАНОВИВ:

...22.05.2013 о 10 год. 30 хв. слідуючи по танції Іванівка Умовної залізниці

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		47

зі швидкістю 30 км/год. зі ст. Кумшацький до ст. Наріз, вони (члени локомотивної бригади) побачили на 3-й залізничній колії станції Насипна в районі лужбового переходу стояли піввагони... Приблизившись на відстань 20 метрів до невідомого чоловіка Іваненко М.Є. застосував екстрене гальмування дрезини ДГКУ № 2911, для попередження наїзду на людину.». Також швидкість дрезини в момент застосування екстреного гальмування 30 км/год. вказана і в інших матеріалах, наданих на дослідження, в тому числі і в *Протоколах допиту свідків Іваненко М.Є. та Демченко А.В.* від 23.05.2013, цитати з яких наведено вище. Тому в розрахунках приймаємо, що швидкість дрезини ДГКу №1223 в момент застосування екстреного гальмування становила $v_{поч} = 30$ км/год.

За даними методиками приріст гальмівного шляху Δs_z у i -му інтервалі часу Δt обчислюється як:

$$\Delta s_z = \frac{\Delta t \cdot v_{сер}}{3,6}, \quad (2.18)$$

де: Δt - інтервал часу гальмування, приймаємо $\Delta t = 1$ секунда;

$v_{сер}$ - середня швидкість в інтервалі часу Δt , км/год,

$$v_{сер} = \frac{v_{поч} + v_{кін}}{2}; \quad (3)$$

$v_{поч}$ - початкова швидкість руху поїзда в інтервалі часу Δt , км/год;

$v_{кін}$ - кінцева швидкість руху поїзда в інтервалі часу Δt , км/год.,

$$v_{кін} = v_{поч} + \Delta v; \quad (2.19)$$

Приріст (зменшення) швидкості Δv у інтервалі часу Δt складає:

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		48

$$\Delta v = -\frac{\Delta t \cdot c \cdot \zeta}{3600}, \quad (2.20)$$

де: c - повна питома сповільнююча сила, що діє на поїзд, Н/кН (%);

ζ - прискорення поїзда від дії одиничної питомої сили, км/год².

Значення ζ приймається в залежності від типу рухомого складу. Згідно [28] для одиночно прямуючого спеціального самохідного рухомого складу (дрезини) $\zeta = 134$ км / год².

Таким чином, формула (6) для розрахунку повної питомої сповільнюючої сили у даному випадку прийме вигляд:

$$c = b_{\varphi} + w_{ox}, \quad (2.21)$$

а, враховуючи, що в даному випадку поїзд – це одиночно слідуючий на холостому ході ССРС ($w_{ox} = w_x'$), матиме вигляд:

$$c = b_{\varphi} + w_x', \quad (2.22)$$

де: w_x' - основний питомий опір руху ССРС при русі на холостому ході; згідно [28]:

$$w_x' = 1,274 - 0,0976 \cdot v_{поч} + 0,0082 \cdot v_{поч}^2, \quad (2.23)$$

Питома гальмівна сила b_{φ} визначається за формулою (2.5) з використанням формули (2.6).

Гальмівний коефіцієнт дрезини визначиться як

$$\mathcal{G}_p^{100\%} = \frac{\sum_{i=1}^n K_{pi}}{P}, \quad (2.24)$$

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		49

$$\sum_{i=1}^n K_{pi} = K_p^{ДГКу} \cdot n, \quad (2.25)$$

де: K_{pi} - натиснення колодок i -го типу на вісь, тс, $K_{pi} = 6$ тс/вісь;

n - кількість гальмівних осей, $n = 2$.

Тоді

$$\sum_{i=1}^n K_{pi} = 6 \cdot 2 = 12 \text{ тс}, \quad \text{а } g_p^{100\%} = \frac{12}{32} = 0,375.$$

Гальмівне натиснення в перерахунку на чавунні гальмівні колодки на кожні 100 тс ваги дрезини буде складати $K = \frac{12 \cdot 100}{32} = 37,5$ тс/100 тс, що відповідає вимогам пункту 1 Додатку 2 Інструкції [16] (не менше 33 тс/100 тс). Тобто гальмівна система дрезини ДГКу №1223 перебувала у справному працездатному стані і повинна була забезпечувати її зупинку за екстреного гальмування на відстані, не більшій гальмівного шляху, що визначений згідно *Номограми для визначення гальмівного шляху вантажного поїзда, обладнаного чавунними колодками на площадці* ([16, Рис. Д.5.1.], і яка для початкової швидкості руху дрезини ДГКу складає близько 100 метрів.

У процесі гальмування значення розрахункового гальмівного коефіцієнту зростає (оскільки наповнення гальмівних циліндрів гальмівної системи дрезини відбувається поступово) і, в залежності від часу гальмування, для одиночних локомотивів приймається згідно [22, табл. 2.29].

Виконаємо детальний розрахунок гальмівного та зупиночного шляху для першої секунди екстреного гальмування при початковій швидкості гальмування 30 км/год та чавунних гальмівних колодках:

$$g_p^{1c} = 0,15 \cdot g_p^{100\%} = 0,056; \quad \varphi_{кр}^{1c} = 0,27 \frac{30+100}{5 \cdot 30+100} = 0,140;$$

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		50

$$b_z^{1c} = 1000 \cdot 0,14 \cdot 0,056 = 7,898 \text{ Н/кН};$$

$$w_x'^{1c} = 1,274 - 0,0976 \cdot 30 + 0,0082 \cdot 30^2 = 5,726 \text{ Н/кН};$$

$$c^{1c} = 7,89 + 5,73 + 0 = 13,624 \text{ Н/кН};$$

$$\Delta v^{1c} = -\frac{1 \cdot 13,62 \cdot 134}{3600} = -0,507 \text{ км/год}; v_{кин}^{1c} = 30 + (-0,507) = 29,493 \text{ км/год};$$

$$v_{сер}^{1c} = \frac{30 + 29,493}{2} = 29,746 \text{ км/год};$$

$$\Delta s_z^{1c} = \frac{1 \cdot 29,75}{3,6} = 8,263 \text{ м}.$$

Тобто, за першу секунду з моменту застосування екстреного гальмування дрезина пройде шлях 8,263 м, а швидкість дрезини знизиться до 29,493 км/год.

Шлях реагування визначимо за формулою (2.15)

Враховуючи, що проміжок часу t_p є відносно коротким (0,5÷0,8 секунди), а основний питомий опір руху ССРС при русі на холостому ході на малих швидкостях руху є незначним ($w_x' \approx 5,73\%$), то впливом цього опору на протязі часу реагування t_p можна знехтувати. Тому в розрахунках шляху реагування s_p значення середньої швидкості руху $v_{p\text{сер}}$ приймаємо рівною швидкості дрезини в момент застосування екстреного гальмування, тобто

$$v_{p\text{сер}} = \text{const} = v_{поч} = 30 \text{ км/год}.$$

Визначення часу реакції машиніста проведемо за формулою (2.16) з

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		51

використанням формули (2.17)

Для розрахунків приймемо максимальні значення коефіцієнтів: $k_3 = 1,15$ та $k_2 = 1,25$.

Тоді,

$$k_1 = \frac{0,448}{0,414} = 1,082 ;$$

$$t_p = 0,414 \cdot 1,15 \cdot (1 + 1,25 \cdot (1,082 - 1)) = 0,525 \text{ с};$$

$$s_p = 0,278 \cdot 30 \cdot 0,525 = 4,382 \text{ м}.$$

Виконані розрахунки шляху реагування машиністом на перешкоду (чи загрозу безпеці руху), розрахункового гальмівного шляху для першої секунди екстреного гальмування, а також подальші розрахунки для інших інтервалів часу руху дрезини в режимі екстреного гальмування до повної зупинки зведемо до Таблиці II.

Як видно з Таблиці II, розрахунковий зупиночний шлях дрезини складе 86,047 м за 16,069 с., а розрахунковий гальмівний шлях –

$$86,047 - 4,374 = 81,673 \text{ м}$$

за

$$16,069 - 0,525 = 15,544 \text{ с}.$$

Таким чином, враховуючи розрахункові значення зупиночного шляху та шляху реагування, можна стверджувати, що реакція машиніста на загрозу безпеці руху відбулась на відстані $86,047 - 56,88 = 29,467 \text{ м}$, а застосування екстреного гальмування – на відстані $29,467 - 4,374 = 25,093 \text{ м}$ від дрезини до осі службового

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		52

переходу.

Схематично положення учасників залізнично-транспортної пригоди у характерні моменти її розвитку (етапи) зображено на рис. 4. Моделювання цієї ситуації здійснимо з урахуванням даних, отриманих з матеріалів, наданих на дослідження, результатів виконаних розрахунків, а також даних, отриманих з довідкової, нормативної та технічної літератури.

При побудові даної моделі приймемо, що «дрезина» – це матеріальна точка (зі всіма характеристиками дрезини), яка знаходиться на задній торцевій частині дрезини ДГКу №2911.

Відповідно до *Схеми до протоколу огляду місця події*, передня частина дрезини №1223 після застосування екстреного гальмування зупинилась на відстані: $6 + 4,3 + 18 + 16 = 44,3$ м від осі службового переходу.

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		53

Таблиця IV – Розрахунок гальмівного шляху дрезини ДГКу №2911 при застосуванні екстреного гальмування

№ рядка	$t_{\text{поч}}, \text{с}$	$t_{\text{кін}}, \text{с}$	$\Delta t, \text{с}$	ϑ_p	$V_{\text{пов}}, \text{км/год}$	$\varphi_{\text{др}}$	$b_z, \%$	$w'_x, \%$	$c, \%$	$\Delta v, \text{км/год}$	$v_{\text{кін}}, \text{км/год}$	$v_{\text{ср}}, \text{км/год}$	$\Delta s_{zi}, \text{м}$	$\sum_{i=1}^n \Delta s_{zi}, \text{м}$	Примітка
1.	0,00	0,525	0,5249	0,00	30,000	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	30,000	30,00	4,37	4,374	Реагування на ЗБР (Етап 3)
2.	0,525	1,52	1,00	0,056	30,000	0,14	7,898	5,73	13,62	-0,50	29,49	29,75	8,26	12,64	Застосування ЕГ (Етап 4)
3.	1,52	2,52	1,00	0,06	29,49	0,14	7,95	5,53	13,48	-0,50	28,99	29,24	8,12	20,76	
4.	2,52	3,52	1,00	0,06	28,99	0,14	8,00	5,34	13,33	-0,50	28,49	28,74	7,98	28,74	
5.	3,52	3,617	0,0916	0,23	28,49	0,14	33,27	5,15	38,42	-0,13	28,364	28,43	0,72	29,467	Зіткнення (Етап 5)
6.	3,617	4,52	0,9084	0,23	28,36	0,14	33,32	5,10	38,43	-1,30	27,06	27,71	6,99	36,46	
7.	4,52	5,52	1,00	0,23	27,06	0,15	33,90	4,64	38,53	-1,43	25,63	26,35	7,32	43,78	
8.	5,52	6,52	1,00	0,23	25,63	0,15	34,57	4,16	38,73	-1,44	24,19	24,91	6,92	50,70	
9.	6,52	7,52	1,00	0,33	24,19	0,15	49,51	3,71	53,22	-1,98	22,21	23,20	6,44	57,14	
10.	7,52	8,52	1,00	0,33	22,21	0,16	51,01	3,15	54,16	-2,02	20,19	21,20	5,89	63,03	
11.	8,52	9,52	1,00	0,33	20,19	0,16	52,68	2,65	55,33	-2,06	18,13	19,16	5,32	68,35	
12.	9,52	10,52	1,00	0,36	18,13	0,17	60,85	2,20	63,05	-2,35	15,79	16,96	4,71	73,07	
13.	10,52	11,52	1,00	0,36	15,79	0,17	63,55	1,78	65,33	-2,43	13,35	14,57	4,05	77,11	
14.	11,52	12,52	1,00	0,36	13,35	0,18	66,76	1,43	68,19	-2,54	10,82	12,08	3,36	80,47	
15.	12,52	13,52	1,00	0,38	10,82	0,19	72,82	1,18	74,00	-2,75	8,06	9,44	2,62	83,09	
16.	13,52	14,52	1,00	0,38	8,06	0,21	77,98	1,02	79,00	-2,94	5,12	6,59	1,83	84,92	
17.	14,52	15,52	1,00	0,38	5,12	0,23	84,74	0,99	85,73	-3,19	1,93	3,53	0,98	85,90	
18.	15,52	16,069	0,54	0,38	1,93	0,25	94,12	1,12	95,24	-1,93	0,000	0,96	0,15	86,047	Зупинка (Етап 6)

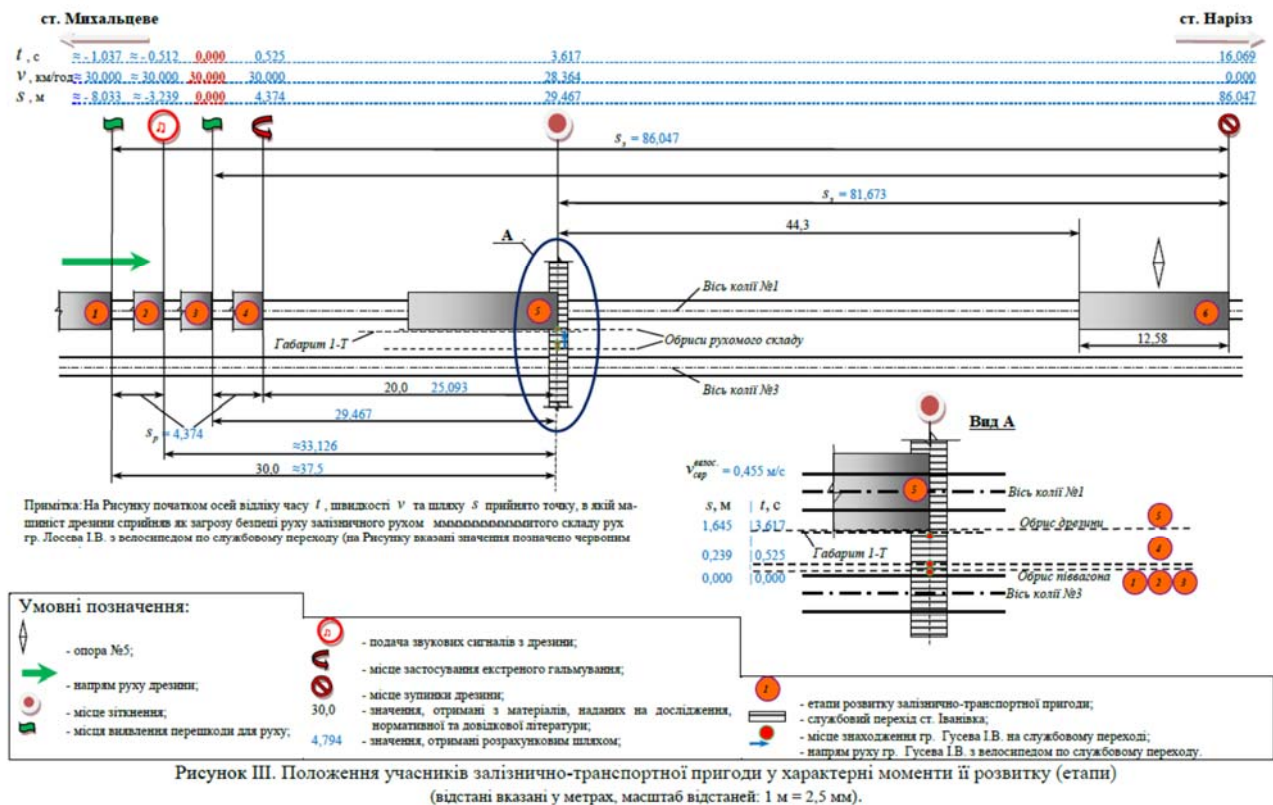


Рисунок 4 – Схема наїзду на людину на технологічному переході

Враховуючи довжину дрезини (12,580 м.), відстань від осі службового переходу до задньої частини дрезини (або «дрезини», як було прийнято вище) у момент її зупинки складала: $44,3 + 12,580 = 56,88 \text{ м.}$

Відповідно до матеріалів, наданих на дослідження відстані від дрезини до осі службового переходу в момент виявлення членами локомотивної бригади гр. Гусева І.В. на службовому переході, а також застосування машиністом дрезини екстреного гальмування складала 30 м та 20 м відповідно. **Враховуючи, що вказані значення відстаней були визначені членами локомотивної бригади візуально, то ці відстані є орієнтовними (не точними).** Порівнюючи дані, наведені у матеріалах, наданих на дослідження, з результатами виконаних розрахунків (відстань від дрезини до осі службового переходу в момент застосування екстреного гальмування – 20 м та 25,093 м відповідно), можна стверджувати, що ці дані є технічно спроможними з незначною похибкою ($\frac{25,093}{20} = 1,25 = 25\%$) в сторону зменшення від розрахункових. Тобто, розрахункова

відстань до осі службового переходу на 25% є більшою, ніж визначена візуально членами локомотивної бригади дрезини. За аналогією визначимо орієнтовну розрахункову відстань від дрезини до осі службового переходу в момент виявлення локомотивною бригадою громадянина Гусева І.В. (який вів велосипед) на службовому переході ст. Іванівка. Враховуючи свідчення членів локомотивної бригади, ця відстань буде складати близько: $30 \cdot 1,25 \approx 37,5$ м.

Проаналізуємо схему, наведену на рис.4.

Етап 1. Рухаючись по 1-й колії ст. Іванівка, локомотивною бригадою дрезини ДГКу №1223 при швидкості ≈ 30 км/год. на службовому переході було візуально виявлено гр. Гусева І.В. (який вів велосипед). Відстань від дрезини до осі службового переходу в цей момент складала $\approx 37,5$ м (тобто, менше від $s_3 = 86,047$ м). В цей момент гр. Гусев І.В. вийшов з-за піввагона та зупинився.

Слід зазначити, що об'єкт (людина, транспортні засоби, предмети, рослини, тварини, природні явища тощо) стає перешкодою для руху залізничного рухомого складу, якщо він (об'єкт) перебуває у *габариті цього рухомого складу* на шляху слідування, оскільки, згідно Правил [15], «Габарит рухомого складу – граничний поперечний (перпендикулярний до осі колії) контур, за в якому, не виходячи назовні, повинен розміщуватися як навантажений, так і порожній рухомий склад, встановлений на прямій горизонтальній площадці.». Тобто, перебування будь-якого матеріального об'єкту у межах габариту рухомого складу може призвести до взаємодії цього об'єкту з частинами рухомого складу. Основний габарит тягового рухомого складу та спеціального самохідного рухомого складу (ССРС) – це габарит 1-Т, який застосовується на коліях шириною 1520 мм загальної мережі залізниць.

Також слід відмітити, що відповідно до показів свідка Довгиш М.М. поява гр. Гусева І.В. з велосипедом на службовому переході ст. Іванівка для членів локомотивної бригади дрезини сприймалася як несподівана (неочікувана), оскільки зупинка по ст. Іванівка не передбачалась.

Відстань між граничними елементами рухомого складу (піввагон на колії

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		56

№3 та дрезини на колії №1), тобто відстань між точкою несподіваної появи гр. Гусева І.В. в полі зору членів локомотивної бригади до точки зіткнення дрезини з велосипедом (який вів гр. Гусев І.В.) по осі службового переходу, обчислимо, виходячи з наступних міркувань: відстань між осями суміжних колій на станціях на прямих ділянках (колії №1 та №3 ст. Іванівка) згідно Правил [15] складає 4,8 м; ширина дрезини ДГКу – 3,17 м, а ширина піввагона – 3,14 м. Тоді відстань між граничними елементами рухомого складу (обрисами рухомого складу), буде становити:

$$4,8 - \left(\frac{3,17}{2} + \frac{3,14}{2} \right) = 1,645 \text{ м.}$$

При цьому, гр. Гусев І.В. перешкоди для руху не створював, оскільки знаходився нерухомо за межами габариту 1-Т рухомого складу (дрезини на колії №1), відстань до меж якого становила $4,8 - \left(\frac{3,14}{2} + 1,7 \right) = 1,53 \text{ м.}$ Тому потреби у застосуванні екстреного гальмування машиністом дрезини на даному етапі не виникало.

Етап 2. Реакцією членів локомотивної бригади на неочікувану появу гр. Гусева І.В. в полі їхнього зору стала подача ними звукових сигналів з метою попередження гр. Гусева І.В. (який вів велосипед) про наближення рухомого складу (дрезини). За час реакції машиніста ($t_p = 0,525 \text{ с}$) (тобто в момент початку подачі звукових сигналів) відстань від дрезини до осі службового переходу скоротилася на шлях реагування ($s_p = 4,382 \text{ м}$) і склала близько $37,5 - 4,794 = 33,126 \text{ м}$ (при швидкості руху $\approx 30 \text{ км/год.}$).

Етап 3. На цьому етапі гр. Гусев І.В. (який вів велосипед) розпочав рух по службовому переході в напрямку колії №1 ст. Іванівка, а машиніст дрезини **сприйняв цей рух гр. Гусева І.В як загрозу безпеці руху.** При цьому, гр. Гусев І.В. в даний момент не був перешкодою на шляху слідування дрезини,

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		57

оскільки перебував за межами габариту рухомого складу. В цей момент дрезина знаходилась на відстані 29,467 м від осі службового переходу (як було встановлено вище – рядки 1, 5 табл. IV), а її швидкість складала 30 км/год.

Відповідно до *Протоколу допиту свідка Матпа І.В.*, «...состав разъединили и мужчина с велосипедом был первым и начал движение по технологическому переходу и в это время он повернулся ко мне и говорит быстрее переходите...». Час від моменту несподіваної появи гр. Гусева І.В. з велосипедом на службовому переході до початку його руху в напрямку колії №1 (час, на протязі якого громадянин Гусев І.В. розмовляв зі свідком Матпа М.М. – від початку *Етапу 1* до початку *Етапу 3*), при швидкості руху дрезини $\approx 30,0 \text{ км/год.} = \frac{30\,000 \text{ м}}{3\,600 \text{ с}} \approx 8,333 \text{ м/с}$ та відстані $\approx 8,033 \text{ м}$, склав:

$$\frac{8,333 \text{ м/с}}{8,033 \text{ м}} \approx 1,037 \text{ с.}$$

Етап 4. Реакцією машиніста дрезини на загрозу безпеці руху стало застосування ним екстреного гальмування. За час реакції машиніста на загрозу безпеці руху (0,525 с) дрезина пододала відстань 4,374 м (рядок 1 Таблиці II) в момент застосування машиністом екстреного гальмування складала 25,093 м до осі службового переходу.

Від моменту початку руху гр. Гусева І.В. (який вів велосипед по службовому переході в сторону колії №1) до місця зіткнення він подолав відстань 1,645 м, а час, за який він пройшов цю відстань, був рівним часу, за який дрезина пододала відстань від моменту виявлення машиністом загрози безпеці руху до моменту зіткнення (29,467 м) і складав 3,617 с (рядки 1, 5 табл. IV). Середня швидкість гр. Гусева І.В. в цьому інтервалі часу склала: $\frac{1,645 \text{ м}}{3,617 \text{ с}} = 0,455 \text{ м/с}$.

Тоді, в момент застосування екстреного гальмування машиністом дрезини, гр. Гусев І.В. подолав відстань $0,455 \text{ м/с} \cdot 0,525 \text{ с} = 0,239 \text{ м}$ і знаходився на відстані $1,645 - 0,239 = 1,406 \text{ м}$ до точки зіткнення дрезини з велосипедом (який вів гр. Гусев І.В.).

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		58

Етап 5. На цьому етапі дрезина, подолавши відстань 25,093 м від точки застосування екстреного гальмування (через $3,617 - 0,525 = 3,092$ с – рядки 2, 5 табл. IV), при швидкості руху 28,364 км/год. здійснила зіткнення на службовому переході з велосипедом (який вів гр. Гусев І.В.).

Етап 6. Після зіткнення на службовому переході ст. Іванівка з велосипедом (який вів гр. Гусев І.В.), через $16,069 - 3,617 = 12,452$ с та, подолавши відстань $86,047 - 29,467 = 56,58$ м (рядки 5, 18 табл. IV), дрезина зупинилася навпроти опори №5.

Слід звернути увагу на те, що тривалість етапів розвитку даної залізнично-транспортної пригоди є дуже короткою. Так, реакція на несподівану появу гр. Гусева І.В. (який вів велосипед) у полі зору членів локомотивної бригади, подача ними звукових сигналів, виявлення загрози безпеки руху та застосування машиністом екстреного гальмування відбулися за дуже короткий проміжок часу, а саме: за $1,037 + 0,525 = 1,562$ с.

Усі транспортні пригоди, які виникають у результаті зіткнень (наїздів), за ступенем керованості об'єктів можна розділити на чотири групи: транспортні пригоди, які виникають у результаті зіткнення рухомих керованих об'єктів; транспортні пригоди, які виникають у результаті зіткнення рухомих керованих з рухомими некерованими об'єктами; транспортні пригоди, що виникають у результаті зіткнення рухомих керованих та некерованих об'єктів з нерухомими об'єктами.

При дослідженні було встановлено, що гр. Гусев І.В. безпосередньо перед зіткненням знаходився на об'єкті залізничного транспорту та на звукові сигнали локомотива не реагував, а також не намагався покинути межі цього об'єкта та не входити в межі габариту рухомого складу та обрису дрезини ДГКу №2911. В результаті цього в межі обрису дрезини потрапив велосипед, який вів гр. Гусев І.В. Тому при побудові механізму даної залізнично-транспортної пригоди велосипед, який вів гр. Гусев І.В. розглядається як рухома перешкода для руху дрезини, що знаходиться в межах габариту рухомого складу та в межах

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		59

обрису дрезини. Іншими словами, розглядається випадок зіткнення рухомого керованого об'єкту (дрезини ДГКу №2911) з рухомим об'єктом (велосипед, який вів гр. Гусев І.В.).

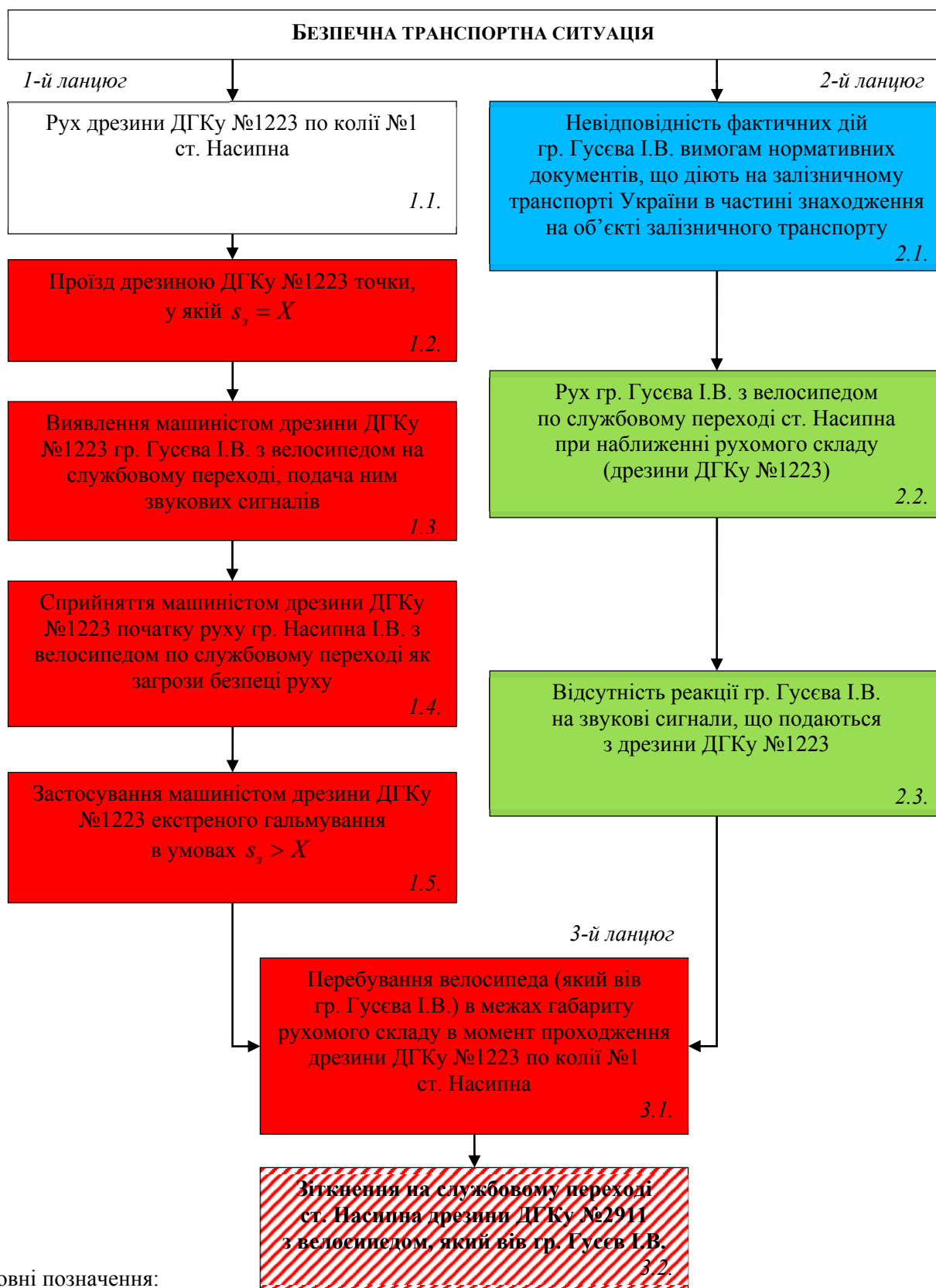
Встановлення безпосередньої технічної причини та послідовності проміжних технічних причин зіткнення, виникнення загрози безпеці руху, виникнення початкових моментів небезпечної та катастрофічної транспортних ситуацій здійснено з використанням *механізму зіткнення на службовому переході ст. Іванівка дрезини ДГКу №1223 з велосипедом, який вів гр. Гусев І.В.*

Моделювання механізму здійснювалось з використанням матеріалів, наданих на дослідження, а також на основі результатів проведених досліджень та розрахунків. На основі виконаних досліджень побудований механізм залізнично-транспортної пригоди, наведений на рис. 5, який має 3 ланцюги та 10 ланок.

Перший ланцюг. Рух дрезини ДГКу №1223 по колії №1 ст. Іванівка (причина) призвів до проїзду дрезиною ДГКу №1223 точки, у якій ; проїзд дрезиною ДГКу №1223 точки, у якій (причина) призвів до виявлення машиністом дрезини ДГКу №1223 гр. Гусева І.В. з велосипедом на службовому переході, подачі ним звукових сигналів (наслідок); виявлення машиністом дрезини ДГКу №1223 гр. Гусева І.В. з велосипедом на службовому переході, подача ним звукових сигналів (причина) призвело до сприйняття машиністом дрезини ДГКу №1223 початку руху гр. Гусева І.В. з велосипедом по службовому переході як загрози безпеці руху (наслідок); сприйняття машиністом дрезини ДГКу №1223 початку руху гр. Гусева І.В. з велосипедом по службовому переході як загрози безпеці руху (причина) призвело до застосування машиністом дрезини ДГКу №1223 екстреного гальмування в умовах (наслідок).

Другий ланцюг. Невідповідність фактичних дій гр. Гусева І.В. вимогам нормативних документів, що діють на залізничному транспорті України, в частині перебування на об'єкті залізничного транспорту (причина) призвела до руху гр. Гусева І.В. з велосипедом по службовому переході ст. Іванівка при наближенні рухомого складу (дрезини ДГКу №2911) (наслідок);

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		60



Умовні позначення:



Рисунок 5 - Механізм залізнично-транспортної пригоди

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		61

рух гр. Гусева І.В. з велосипедом по службовому переході ст. Іванівка при наближенні рухомого складу (дрезини ДГКу №2911) (*причина*) призвів до відсутності реакції гр. Гусева І.В. на звукові сигнали, що подаються з дрезини ДГКу №1223 (*наслідок*).

Третій ланцюг. Застосування машиністом дрезини ДГКу №1223 екстреного гальмування в умовах $s_3 > X$ та відсутність реакції гр. Гусева І.В. на звукові сигнали, що подаються з дрезини ДГКу №1223 (*причини*) в сукупності призвели до перебування велосипеда (який вів гр. Гусев І.В.)

в межах габариту рухомого складу в момент проходження дрезини ДГКу №1223 по колії №1 ст. Іванівка (*наслідок*); перебування велосипеда (який вів гр. Гусев І.В.) в межах габариту рухомого складу в момент проходження дрезини ДГКу №1223 по колії №1 ст. Іванівка (*причина*) призвело до зіткнення на службовому переході ст. Іванівка дрезини ДГКу №1223 з велосипедом, який вів гр. Гусев І.В.

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		62

ЗАСТОСУВАННЯ ПРИНЦИПІВ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ ДЛЯ ОЦІНКИ ТРАНСПОРТНИХ СИТУАЦІЙ

3.1 Основні поняття нечіткої логіки

Поняття «безпека» відноситься до складних явищ, які не підлягають опису у загальноприйнятих кількісних термінах, тобто визначені *нечітко*. Для кількісного опису таких явищ використовується математичний апарат *нечіткої логіки*, який розроблений Л. Заде [10].

Одним з основних понять нечіткої логіки є поняття *лінгвістичної змінної*.

Лінгвістична змінна – це змінна, значеннями якої є слова чи речення природньої чи штучної мови.

Таким чином, якщо розуміти поняття «безпека» як лінгвістичну змінну, то вона може мати значення *надзвичайно безпечно, цілком безпечно, безпечно, більш-менш безпечно, небезпечно, дуже небезпечно, надзвичайно небезпечно*.

Як відзначено у праці [10] основні застосування *лінгвістичного підходу* знаходяться у сфері гуманістичних систем, серед іншого, у таких областях, як *процеси прийняття рішень людиною, право, економіка і пов'язаних з ними областях*. Автор особливо відзначає, що неефективність обчислювальних машин, у вивченні гуманістичних систем є підтвердженням того, що висока точність несумісна з великою складністю системи. У подальшому він висловлює думку, що «можливо саме з цієї причини звичайні методи аналізу систем і моделювання на ЕОМ, які засновані на точній обробці числових даних, по суті не можуть охопити величезну складність процесів людського мислення і *прийняття рішень*» [10]. Тут слід відзначити, що саме *прийняття правильних рішень* людиною і є основою безпеки взагалі і, у тому числі, безпеки руху.

Лінгвістична змінна описується набором

$$[\chi, T(\chi), U, G, M] \quad (3.1)$$

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		63

де χ – назва лінгвістичної змінної; $T(\chi)$ – терм-множина (сукупність значень лінгвістичної змінної χ ; U – універсальна множина; G – синтаксичне правило, яке породжує терми терм-множини $T(\chi)$; M – семантичне правило, яке кожному лінгвістичному значенню X ставить у відповідність його зміст $M(X)$, причому $M(X)$ позначає нечітку підмножину множини U .

Зміст лінгвістичного значення X характеризується функцією сумісності $c:U \rightarrow [0,1]$, яка кожному елементу $u \in U$ ставить у відповідність значення сумісності даного елемента з X .

Призначення семантичного правила M – пов'язати сумісності первинних термів у складеному лінгвістичному значенні з сумісністю складеного значення. З цією метою використовуються нелінійні оператори, які перетворюють зміст відповідних термів. Нелінійними операторами є слова «дуже», «цілком», «надзвичайно» і т.п. а також сполучники «і» та «але».

Сукупність значень лінгвістичної змінної складають терм-множину цієї змінної. У загальному випадку терм-множина може мати нескінченну кількість елементів. Л. Заде виділяє два характерних види терм множин. Перший вид терм-множини і відповідна лінгвістична змінна можуть бути співставні з числовою (базовою) змінною лінгвістичної змінної.

У іншому випадку співставлення терм-множини і відповідної лінгвістичної змінної з відповідною числовою (базовою) змінною є ускладненим.

У випадку, якщо базова змінна є чисельною за своєю природою, лінгвістичними змінними можна оперувати певним досить визначеним способом, а саме шляхом використання принципу узагальнення для нечітких множин. У другому випадку спосіб поводження з лінгвістичними змінними має більш якісний характер. Однак у обидвох цих випадках у більшій чи меншій мірі наявні обчислення. Таким чином, лінгвістичний підхід не є по своїй суті повністю якісним. Обчислення здійснюються «за кулісами», а потім вже використовується лінгвістичне наближення для перетворення чисел у слова [10] (рис. 6).

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		64

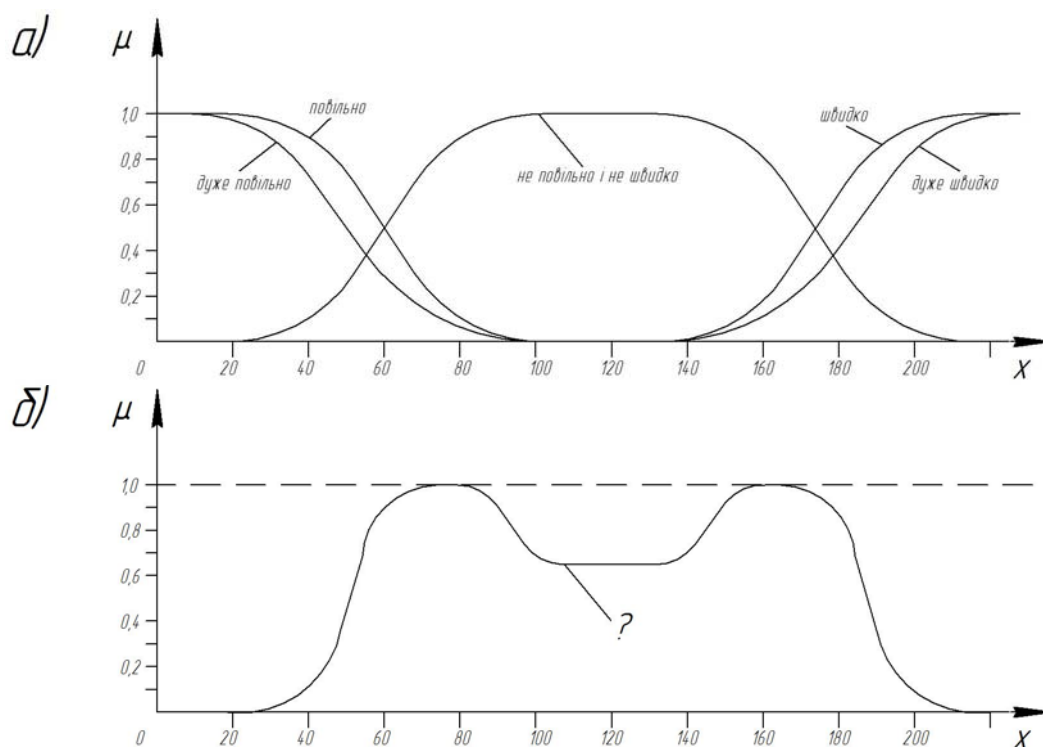


Рисунок 6 - Лінгвістичне наближення функції сумісності

а) – функція сумісності значень; б) – задача лінгвістичного наближення (задача знаходження наближеного лінгвістичного опису даної функції сумісності)

Суттєвим при розгляді нечітких змінних є поняття *невзаємодії*, яке є аналогічним до поняття незалежності для випадкових змінних.

Нечіткі змінні є *взаємодіючими*, якщо присвоєння значення одній з них впливає на нечіткі обмеження, що накладаються на інші змінні.

3.2 Базові поняття математичного апарату нечіткої логіки

Операції з множинами

Нечітка підмножина A універсальної множини U характеризується функцією належності $\mu_A: U \rightarrow [0,1]$, яка ставить у відповідність кожному

елементу $u \in U$ число $\mu_A(u)$ з інтервалу $[0,1]$, що характеризує *ступінь належності* елемента u підмножині A .

У більш загальному випадку значеннями μ_A можуть бути елементи частково впорядкованої множини або інші нечіткі множини.

Носієм нечіткої множини A є множина таких точок в U , для яких величина $\mu_A(u)$ є додатньою.

Висотою нечіткої множини A є величина $\sup_U \mu_A(u)$.

Точкою переходу нечіткої множини A є такий елемент множини U ступінь належності якого множині A дорівнює 0,5.

Наприклад, нечітку підмножину універсальної множини U , яка позначається терміном «швидко», можна визначити функцією належності виду

$$\mu_A(u) = \begin{cases} 0 & \text{при } 0 \leq u \leq 50 \\ \left(1 + \left(\frac{u-50}{5}\right)^{-2}\right)^{-1} & \text{при } 50 \leq u \leq 100 \end{cases} \quad (3.2)$$

У даному прикладі носієм нечіткої множини «швидко» є інтервал $[50,100]$, висота множини «швидко» близька до 1, а точною переходу є значення $u = 55$.

Нечітку підмножину A універсальної множини U будемо записувати наступним чином:

$$A = \mu_1 / u_1 + \dots + \mu_n / u_n, \quad (3.3)$$

або

$$A = \sum_{i=1}^n \mu_i / u_i, \quad (3.4)$$

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		66

де $\mu_i, i = 1, \dots, n$, – ступінь належності елемента u_i нечіткій множині A ; знак «+» і символ « $\sum$ » у даному випадку позначає об'єднання, а не алгебраїчне сумування, а знак «/» розділяє значення функції належності і елемента, якщо він є числом [76].

Тоді у випадку зліченої універсальної множини

$$U = 0 + 1 + 2 + \dots$$

то його нечітка множина, яка позначається словом «малий» можна записати так:

$$\text{малий} = \sum_0^{\infty} \left(1 + \left(\frac{u}{10} \right)^2 \right)^{-1} / u. \quad (3.5)$$

Слід зазначити, що якщо $u_i = u_j$ запис нечіткої множини A можна перетворити наступним чином:

$$\mu_i u_i + \mu_j u_i = (\mu_i \vee \mu_j) u_i \quad (3.6)$$

Так, наприклад, запис

$$A = 0,3a + 0,8a + 0,5b \quad (3.7)$$

можна перетворити у

$$A = (0,3 \vee 0,8)a + 0,5b = 0,8a + 0,5b. \quad (3.8)$$

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		67

Якщо носій нечіткої множини A має потужність континууму (усіх дійсних чисел), то використовується наступний запис:

$$A = \int_U \mu_A(u) / u, \quad (3.9)$$

маючи на увазі, що $\mu_A(u)$ - ступінь належності елемента u множині A , а знак $\int$ позначає об'єднання нечітких одноточкових множин $\mu_A(u) / u$, $u \in U$.

Наприклад, нехай універсальна множина являє собою інтервал $[0,100]$, а змінна u , яка приймає значення з даного інтервалу, інтерпритується як «швидкість». Тоді нечітка підмножина, яка визначається словом «швидкий» функція належності якого визначається формулою (3.1), можна записати як

$$\text{швидкий} = \int_{50}^{100} \left(1 + \left(\frac{u-50}{5} \right)^{-2} \right)^{-1} / u. \quad (3.10)$$

Нормальним називається нечітка множина, у якої висота дорівнює 1, тобто

$$\sup_U \mu_A(u) = 1 \quad (3.11)$$

У іншому випадку нечітка множина називається *субнормальною*. Субнормальну нечітку множину можна нормалізувати, розділивши функцію μ_A на величину $\sup \mu_A(u)$

Нечітка підмножина універсальної множини U може бути підмножиною іншої нечіткої чи звичайної множини A . Точніше, A є підмножиною B або міститься у B тоді і лише тоді, коли $\mu_A(u) \leq \mu_B(u)$ для будь-якого $u \in U$, тобто

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		68

$$A \subset B \Leftrightarrow \mu_A(u) \leq \mu_B(u), u \in U. \quad (3.12)$$

Множини

Множиною α –рівня нечіткої множини A є множина (у звичайному змісті) A_α усіх таких елементів універсальної множини U , степінь належності яких нечіткій множині A більша чи рівна α :

$$A_\alpha = \{u \mid \mu_A(u) \geq \alpha\}. \quad (3.13)$$

Нечітку множину A можна наступним чином розкласти по її множинах α – рівня:

$$A = \int_0^1 \alpha A_\alpha \quad (3.14)$$

або

$$A = \sum_\alpha \alpha A_\alpha \quad (3.15)$$

де αA_α – добуток числа α на множину A_α , а $\int_0^1$ (чи $\sum_\alpha$) – знак об'єднання множин A_α по α від 0 до 1.

Розкладення (3.28) чи (3.29) можна розглядати як результат групування членів виразу (3.5) по підмножинах, кожна з яких відповідає визначеній множині рівня. Припустимо, наприклад, що нечітка множина A має вигляд

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		69

$$A = 0,1 / 2 + 0,3 / 1 + 0,5 / 7 + 0,9 / 6 + 1 / 9.$$

Тоді, використовуючи (3.17), A можна представити наступним чином:

$$\begin{aligned} A = & 0,1 / 2 + 0,1 / 1 + 0,1 / 7 + 0,1 / 6 + 0,1 / 9 + \\ & + 0,3 / 1 + 0,3 / 7 + 0,3 / 6 + 0,3 / 9 + \\ & + 0,5 / 7 + 0,5 / 6 + 0,5 / 9 + \\ & + 0,9 / 6 + 0,9 / 9 + \\ & + 1 / 9 \end{aligned}$$

або

$$\begin{aligned} A = & 0,1(1 / 2 + 1 / 1 + 1 / 7 + 1 / 6 + 1 / 9) + \\ & + 0,3(1 / 1 + 1 / 7 + 1 / 6 + 1 / 9) + \\ & + 0,5(1 / 7 + 1 / 6 + 1 / 9) + \\ & + 0,9(1 / 6 + 1 / 9) + \\ & + 1(1 / 9) \end{aligned}$$

тобто у вигляді (3.29) з множинами рівня

$$A_{0,1} = 2 + 1 + 7 + 6 + 9,$$

$$A_{0,3} = 1 + 7 + 6 + 9,$$

$$A_{0,5} = 7 + 6 + 9,$$

$$A_{0,9} = 6 + 9,$$

$$A_{1,0} = 9.$$

Над нечіткими множинами можна здійснювати *операції*. Основними з них є наступні.

Доповнення нечіткої множини A позначається символом $\neg A$ (або іноді A' і визначається наступним чином

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		70

$$\neg A = \int_U (1 - \mu_A(u)) / u. \quad (3.16)$$

Операція доповнення відповідає логічному запереченню. Так, наприклад, якщо A – назва нечіткої множини, то «не A » позначається як $\neg A$.

Об'єднання нечітких множин A та B позначається $A+B$ або $A \cup B$ і визначається наступним чином:

$$A \cup B = \int_U (\mu_A(u) \vee \mu_B(u)) / u. \quad (3.17)$$

Об'єднання відповідає логічній зв'язці «або». Так, якщо, наприклад A та B – назви нечітких множин, то запис « A або B » розуміється як $A+B$.

Перетин A та B позначається $A \cap B$ і визначається наступним чином:

$$A \cap B = \int_U (\mu_A(u) \wedge \mu_B(u)) / u. \quad (3.18)$$

Перетин відповідає логічній зв'язці «і». Слід зазначити, що логічній зв'язці «і» відповідає також і операція, що визначається за допомогою арифметичного добутку [76].

Добуток A та B позначається AB і визначається формулою

$$AB = \int_U (\mu_A(u) \mu_B(u)) / u. \quad (3.19)$$

Таким чином, будь-яка нечітка множина A^α , де α – додатне число, потрібно розуміти наступним чином:

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		71

$$A^\alpha = \int_U (\mu_A(u))^\alpha / u. \quad (3.20)$$

Також, якщо α – додатне число, таке, що $\alpha \sup_U \mu_\alpha(u) / u \leq 1$, то

$$\alpha A = \int_U \alpha \mu_A(u) / u. \quad (3.21)$$

Концентрування є частковим випадком піднесення до степені і визначається виразом

$$\text{CON}(A) = A^2. \quad (3.22)$$

Розтягнення також є частковим випадком піднесення до степені

$$\text{DIL}(A) = A^{0,5}. \quad (3.23)$$

Приклад. Якщо

$$U = 1+2+3+4+5+6+7+8+9+10,$$

$$A = 0,8/3+1/5+0,6/6,$$

$$B = 0,7/3+1/4+0,5/6,$$

то

$$\sqcup A = 1/1+1/2+0,2/3+1/4+0,4/6+1/7+1/8+1/9+1/10,$$

$$A \cup B = 0,8/3+1/4+1/5+0,6/6,$$

$$A \cap B = 0,7/3+0,5/6,$$

$$AB = 0,56/3+0,3/6,$$

$$A^2 = \text{CON}(A) = 0,64/3+1/5+0,36/6,$$

$$0,4 A = 0,32/3+0,4/5+0,24/6,$$

$$\text{DIL}(B) = 0,84/3+1/4+0,7/6.$$

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		72

Опукла комбінація нечітких множин $A_1, \dots, A_n$, які є підмножинами універсальної множини U – це нечітка множина A з функцією належності виду

$$\mu_A = w_1 \mu_{A_1} + \dots + w_n \mu_{A_n}, \quad (3.24)$$

де $w_1 \dots w_n$ – додатні вагові коефіцієнти, сума яких дорівнює 1, а знак «+» означає арифметичне сумування.

Поняття *опуклої комбінації* використовується при розгляді таких лінгвістичних невизначенностей, як «*суттєво*», «*типово*» і т.п.

Декартовий добуток нечітких множин $A_1, \dots, A_n$, які є підмножинами універсальних множин $U_1, \dots, U_n$ відповідно і який позначається $A_1 \times \dots \times A_n$, визначається як нечітка підмножина множини $U_1 \times \dots \times U_n$ з функцією належності

$$\mu_{A_1 \times \dots \times A_n}(u_1, \dots, u_n) = \mu_{A_1}(u_1) \wedge \dots \wedge \mu_{A_n}(u_n) \quad (3.25)$$

Таким чином

$$A_1 \times \dots \times A_n = \int_{U_1 \times \dots \times U_n} (\mu_{A_1}(u_1) \wedge \dots \wedge \mu_{A_n}(u_n)) / (u_1, \dots, u_n). \quad (3.26)$$

Наприклад, якщо

$$U_1 = 3 + 5 + 7$$

$$U_2 = 3 + 5 + 7$$

$$A_1 = 0,5 / 3 + 1 / 5 + 0,6 / 7$$

$$A_2 = 1 / 3 + 0,6 / 5$$

то

$$A_1 \times A_2 = 0,5(3;3) + 1(5;3) + 0,6(7;3) + 0,5(3;5) + 0,6(5;5) + 0,6(7;5)$$

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		73

Збільшення нечіткості використовується для перетворення звичайної (не нечіткої) множини у нечітку множину або для збільшення нечіткості нечіткої множини. Так, результатом дії оператора збільшення нечіткості F на нечітку підмножину A множини U є нечітка підмножина $F(A; K)$ виду

$$F(A; K) = \int_U \mu_A(u) K(u), \quad (3.27)$$

де нечітка множина $K(u)$ є ядром оператора F , тобто результатом дії оператора F на одноточкову множину $1/u$:

$$K(u) = F(1/u; K); \quad (3.28)$$

$\mu_A(u)K(u)$ – добуток числа $\mu_A(u)$ та нечіткої множини $K(u)$ а $\int_U$ – знак об'єднання сімейства нечітких множин $\mu_A(u)K(u)$, $u \in U$.

По суті вираз (3.48) є аналогічним до представлення лінійного оператора, у якому $K(u)$ відіграє роль імпульсної перехідної функції.

Приклад. Нехай U , A та $K(u)$ визначаються наступним чином:

$$U = 1 + 2 + 3 + 4; \quad A = 0,8/1 + 0,6/2; \quad K(1) = 1/1 + 0,4/2; \\ K(2) = 1/2 + 0,4/1 + 0,4/3.$$

Тоді

$$F(A; K) = 0,8(1/1 + 0,4/2) + 0,6(1/2 + 0,4/1 + 0,4/3) = \\ = 0,8/1 + 0,32/2 + 0,6/2 + 0,24/1 + 0,24/3 = 0,8/1 + 0,6/2 + 0,24/3.$$

Операція збільшення нечіткості відіграє важливу роль у визначенні таких лінгвістичних невизначенностей, як «більш чи менш», «злегка», «дещо (у деякій степені)», «багато» і т.д.

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		74

3.3 Вибір лінгвістичних змінних для випадку наближення поїзда та автомобіля до переїзду

Для початку розглянемо особливості терм-множини першого виду на прикладі лінгвістичної зміни «Швидкість». Вона співставна з числовою змінною «швидкість» яка приймає значення 0, 10, 20, 30, ... 100 Тобто базовою змінною для лінгвістичної змінної «Швидкість» є числова змінна «швидкість». Для таких змінних легко визначити поняття нечіткого обмеження. Наприклад лінгвістичне значення «повільно» є нечітким обмеженням на значення базової (числової) змінної «швидкість».

Вказане нечітке обмеження на значення базової змінної характеризується функцією сумісності, яка кожному значенню базової змінної ставить у відповідність число з інтервалу $[0,1]$, яке символізує сумісність даного значення з нечітким обмеженням. Наприклад, якщо значення функції сумісності таких числових значень змінної «швидкість», як 10, 40 та 60 з нечітким обмеженням «повільно», можуть бути 1; 0,68 і 0,25 відповідно, то зміст лінгвістичної величини повільно можна подати кривою (рис. 7.), яка являє собою графік сумісності лінгвістичного значення «повільно» відносно базової змінної «швидкість».

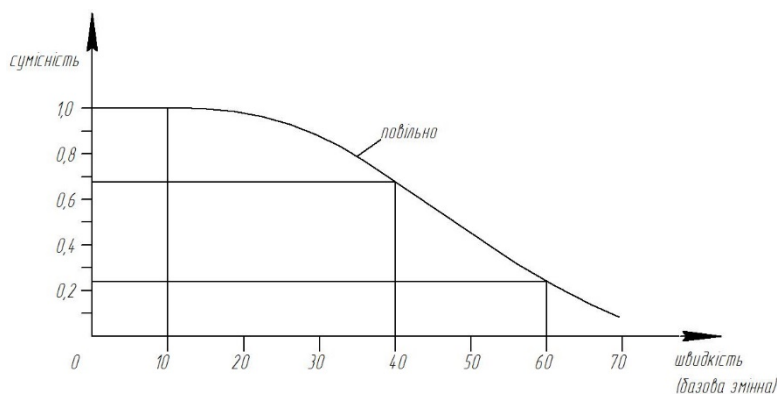


Рисунок 7 – Функція сумісності для значення «повільно»

Слід зазначити, що назва одиниці рухомого складу «Тепловоз» у такому контексті може розглядатися як назва складеної лінгвістичної змінної, компонентами якої є лінгвістичні змінні «Швидкість», «Відстань до перешкоди»,

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		75

«Технічний стан» і т.п.

Тоді вираз «Тепловоз рухається повільно» інтерпритується як рівняння призначення (рис. 8), яке призначає значення «повільно» лінгвістичній змінній «Швидкість». У свою чергу значення «повільно» інтерпритується як назва деякого нечіткого обмеження на базову (числову) змінну «швидкість», причому зміст даного обмеження визначається його функцією сумісності.

Швидкість = повільно

Рисунок 8 – Рівняння призначення

Ієрархічна структура зв'язку між лінгвістичною змінною «Швидкість», нечіткими обмеженнями, які являють собою зміст її значень і значенням базової (числової) змінної «швидкість» показана на рис. 9.



Рисунок 9 - Призначення лінгвістичних значень характерним ознакам одиниці рухомого складу

Слід зазначити, що лінгвістична змінна має структуру (рис.10) у тому сенсі, що вона пов'язана з двома правилами:

- синтаксичним, яке визначає спосіб породження лінгвістичних значень, що належать терм-множині даної змінної;
- семантичним, яке визначає спосіб обчислення змісту будь-якої лінгвістичної змінної.

Таким чином типове значення лінгвістичної змінної «не дуже швидко і не дуже повільно» містить у собі первинні терми («швидко» та «повільно»), зміст яких є суб'єктивним і залежить від контексту, але передбачається, що зміст таких термів визначено наперед. У свою чергу слова-зв'язки, такі як «і», «чи», «не», та такі невизначеності як «дуже», «більш-менш», «повністю», «зовсім», «безумовно», «надзвичайно», «частково» трактуються як оператори, які видозмінюють зміст первинних термів особливим, незалежним від контексту чином.

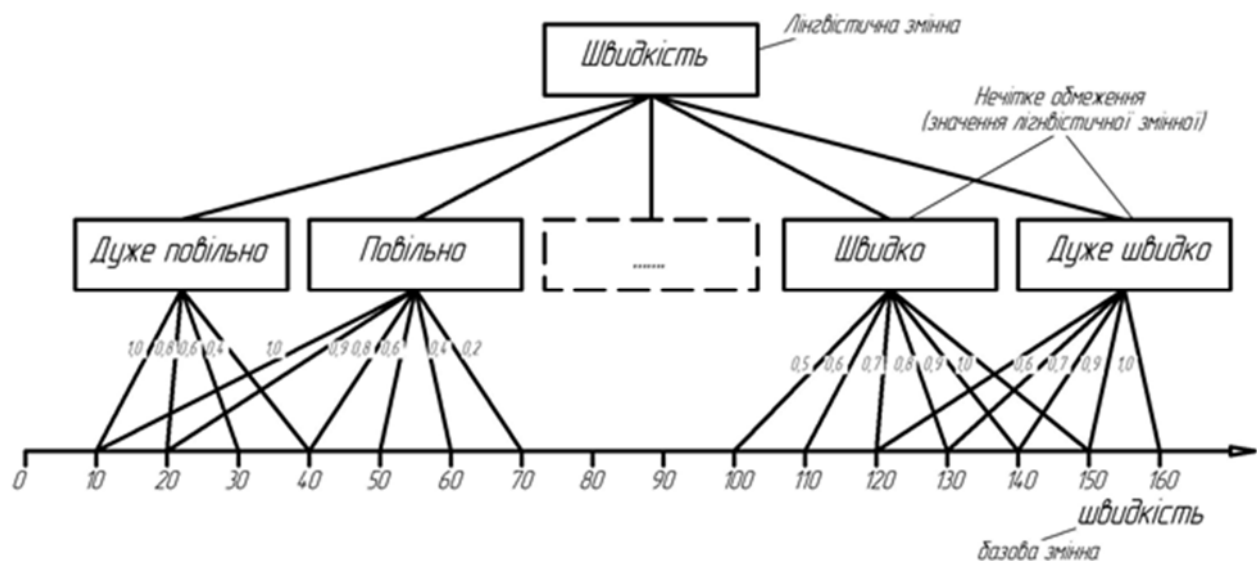


Рисунок 10 - Ієрархічна структура лінгвістичної змінної

Так, наприклад, якщо функція сумісності лінгвістичного значення «повільно» зображується кривою, що показана на рис. 7, то зміст лінгвістичного значення «дуже повільно» може бути отримано піднесенням до квадрату значень функції сумісності лінгвістичного значення «повільно». Зміст лінгвістичного значення «не повільно» у такому випадку можна отримати шляхом віднімання від 1 (одиниці) значення даної функції сумісності (рис. 11).

Для лінгвістичної змінної «Швидкість» відповідна базова змінна «швидкість» є за своєю сутністю числовою змінною. У такому випадку зміст лінгвістичного значення «повільно» визначається функцією сумісності, яка ставить у відповідність кожному значенню базової змінної з інтервалу, наприклад

$[0, 160]$ число з інтервалу $[0,1]$, яке являє собою сумісність даної швидкості з поняттям «повільно».

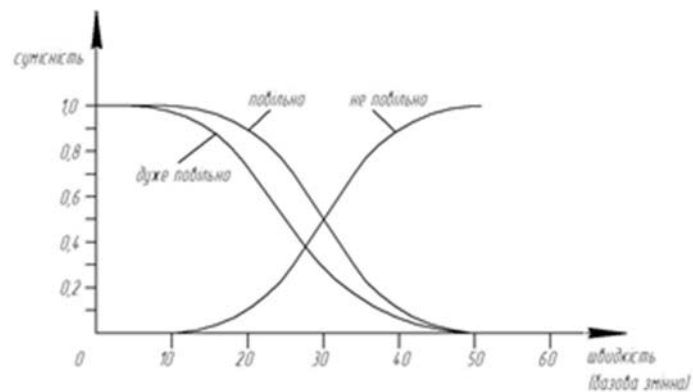


Рисунок 11 - Функція сумісності значень «повільно», «дуже повільно», «швидко»

Для таких лінгвістичних змінних функція сумісності визначається не на множині об'єктів, що визначені математично точно, а на множині позначених деякими символами вражень.

Таким чином, базовими лінгвістичними змінними для поїзда та для автомобіля будуть «Швидкість» та «Відстань», кожна з яких може набувати нечітких обмежень відповідно «Швидко», «Повільно» та «Близько», «Далеко».

Проміжні значення функцій сумісності «дуже швидко», «дуже повільно», «не швидко і не повільно», «дуже близько», «дуже далеко», «не близько і не далеко» можуть бути визначені за правилами, що наведені вище.

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ДІЙ МАШИНІСТА У ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНІЙ ТРАНСПОРТНІЙ СИТУАЦІЇ

4.1 Алгоритм дій машиніста при виявленні автомобіля, що знаходиться у межах габариту на залізничному переїзді

Вказана ситуація є доволі типовою і може виникнути внаслідок виїзду автомобіля на забороняючий сигнал переїзної сигналізації, на дозволяючий сигнал переїзної сигналізації при неправильному налаштуванні часу сповіщення або при низькій якості дорожнього покриття а також при виникненні несправності чи зупинці роботи двигуна в момент перетину залізничних колій.

Дії машиніста при цьому повинні залежати від швидкості руху поїзда, відстані до переїзду та швидкості руху автомобіля. Алгоритм дій машиніста наведений у табл. V.

Таблиця V – Алгоритм дій машиніста при виявленні автомобіля у межах габариту на залізничному переїзді.

Швидкість руху автомобіля	Відстань поїзда до переїзду	Швидкість руху поїзда	Дії машиніста у послідовності
ШВИДКО	БЛИЗЬКО	ШВИДКО	Екстрене гальмування, гудок
ШВИДКО	БЛИЗЬКО	ПОВІЛЬНО	Екстрене гальмування, гудок
ШВИДКО	ДАЛЕКО	ШВИДКО	Гудок, екстрене гальмування
ШВИДКО	ДАЛЕКО	ПОВІЛЬНО	Гудок, готовність до гальмування
ПОВІЛЬНО	БЛИЗЬКО	ШВИДКО	Екстрене гальмування, гудок
ПОВІЛЬНО	БЛИЗЬКО	ПОВІЛЬНО	Екстрене гальмування, гудок
ПОВІЛЬНО	ДАЛЕКО	ШВИДКО	Гудок, екстрене гальмування
ПОВІЛЬНО	ДАЛЕКО	ПОВІЛЬНО	Гудок, екстрене гальмування

4.2 Алгоритм дій машиніста при виявленні автомобіля, що наближається до переїзду

У даній ситуації до моменту перетину автомобілем лінії габариту зайнятості колії немає, однак може виникнути ситуація коли стане очевидним, що автомобіль не зупиниться. Незважаючи на ніби то очевидність порушення зі сторони водія ситуація не є однозначною. Слід лише вказати, що сигналізація може бути несправною, або функціональний стан водія може бути порушений (що і спостерігалось у випадку, який описаний у попередніх розділах.

Запізнення машиніста з реакцією може призвести до непоправних наслідків. Слід особливо відзначити, що екстрене гальмування, у випадку його застосування, збільшує час наближення поїзда до переїзду, за який автомобіль може встигнути покинути небезпечну зону. Тому, з однієї сторони, гальмувати потрібно, бо тоді зростає шанс того, що автомобіль покине переїзд. З іншої сторони, екстрене гальмування саме по собі є небезпечним режимом руху, яке може призвести, наприклад, до падіння пасажирів з полиць і підвищити ймовірність сходу.

Слід відзначити також специфічний підхід до оцінки цієї ситуації органами досудового розслідування. Спираючись на вимоги Правил дорожнього руху, які вимагають від водія, що рухається по головній дорозі, у випадку небезпеки застосовувати усі засоби для уникнення аварії, незважаючи на перевагу у русі, слідчі нерідко роблять спробу перенести цей принцип на випадок зіткнення на переїздах, що призводить до спроби притягнення машиністів до відповідальності за «невчасне» на думку слідчих, застосування екстреного гальмування.

У нижченаведеному алгоритмі (табл. VI) дії машиніста залежать від значення нечітких змінних «відстань автомобіля до переїзду», «швидкість руху автомобіля», «відстань поїзда до переїзду», «швидкість руху поїзда». Змінна «швидкість» може приймати базові значення «швидко» і «повільно», а змінна «відстань» - «близько» і «далеко».

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		80

Таблиця VI – Алгоритм дій машиніста при виявленні автомобіля, який наближається до переїзду

Відстань автомобіля до переїзду	Швидкість руху автомобіля	Відстань поїзда до переїзду	Швидкість руху поїзда	Дії машиніста у послідовності
БЛИЗЬКО	ШВИДКО	БЛИЗЬКО	ШВИДКО	Екстрене гальмування, гудок
БЛИЗЬКО	ШВИДКО	БЛИЗЬКО	ПОВІЛЬНО	Екстрене гальмування, гудок
БЛИЗЬКО	ШВИДКО	ДАЛЕКО	ШВИДКО	Гудок, готовність до гальмування
БЛИЗЬКО	ШВИДКО	ДАЛЕКО	ПОВІЛЬНО	Гудок, готовність до гальмування
БЛИЗЬКО	ПОВІЛЬНО	БЛИЗЬКО	ШВИДКО	Гудок, готовність до гальмування
БЛИЗЬКО	ПОВІЛЬНО	ДАЛЕКО	ШВИДКО	Гудок, готовність до гальмування
БЛИЗЬКО	ПОВІЛЬНО	ДАЛЕКО	ПОВІЛЬНО	Гудок
БЛИЗЬКО	ПОВІЛЬНО	БЛИЗЬКО	ПОВІЛЬНО	Гудок, готовність до гальмування
ДАЛЕКО	ШВИДКО	БЛИЗЬКО	ШВИДКО	Гудок
ДАЛЕКО	ШВИДКО	БЛИЗЬКО	ПОВІЛЬНО	Гудок, готовність до гальмування
ДАЛЕКО	ШВИДКО	ДАЛЕКО	ШВИДКО	Гудок
ДАЛЕКО	ШВИДКО	ДАЛЕКО	ПОВІЛЬНО	Гудок
ДАЛЕКО	ПОВІЛЬНО	БЛИЗЬКО	ШВИДКО	Додаткових дій не потрібно
ДАЛЕКО	ПОВІЛЬНО	ДАЛЕКО	ШВИДКО	Додаткових дій не потрібно
ДАЛЕКО	ПОВІЛЬНО	ДАЛЕКО	ПОВІЛЬНО	Додаткових дій не потрібно
ДАЛЕКО	ПОВІЛЬНО	БЛИЗЬКО	ПОВІЛЬНО	Додаткових дій не потрібно

4.3 Застосування експертного методу для встановлення функцій сумісності

Функції сумісності встановлюються експертними методами. Залежно від кількості залучених до опитування експертів як прямі, і непрямі методи діляться на одиночні і групові.

У прямих методах експерт чи група експертів просто задають кожному значення $x \in X$ значення функції сумісності $\mu_A(x)$.

Як правило, прямі методи побудови функцій сумісності використовуються для таких властивостей, які можуть бути виміряні деякою кількісною шкалою. Наприклад, такі фізичні величини, як швидкість, час, відстань, тиск, температура та інші мають відповідні одиниці та еталони для свого виміру.

При прямій побудові функцій сумісності слід враховувати, що теорія нечітких множин вимагає абсолютно точного завдання функцій сумісності. Найчастіше буває достатньо зафіксувати лише найбільш характерні значення та вид функції власності.

Так, наприклад, якщо необхідно побудувати нечітку множину, яка представляє властивість "швидкість руху автомобіля приблизно 50 км/год", на початковому етапі може виявитися достатнім представити відповідну нечітку множину трикутної функції сумісності з параметрами $a = 40$ км/год, $b = 60$ км/год і $c = 50$ км/год. Надалі функція сумісності може бути уточнена дослідним шляхом на основі аналізу результатів розв'язання конкретних завдань.

Процес побудови чи завдання нечіткої множини з урахуванням деякого відомого заздалегідь кількісного значення вимірної ознаки отримав навіть спеціальну назву — фаззифікація чи приведення до нечіткості. Справа в тому, що хоч іноді нам буває відомим деяке значення вимірюваної величини, ми визнаємо той факт, що це значення відомо неточно, можливо з похибкою чи випадковою помилкою. При цьому чим менше ми впевнені в точності вимірювання ознаки, тим більшим буде інтервал носія відповідної нечіткої множини. Слід пам'ятати, що у більшості практичних випадків абсолютна точність виміру є лише зручною абстракцією для побудови математичних моделей. Саме з цієї причини фаззифікація дозволяє більш адекватно уявити

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		82

об'єктивно присутню неточність результатів фізичних вимірів.

При *прямому груповому методі* враховується думка декількох експертів.

Наприклад, нехай є m експертів, n_1 з яких на питання приналежності елемента $x \in X$ нечіткій множині A відповідають позитивно. Інша частина експертів $n_2 = m - n_1$ відповідає це питання негативно. Тоді приймається $\mu_A(x) = n_1/(n_1 + n_2) = n_1/m$.

Для визначення функції сумісності лінгвістичних змінних було заплановано проведення натурного експерименту, який мав полягати у наступному.

Етап перший. При русі поїзда до залізничного переїзду за допомогою технології GPS фісується відстань, яка залишається невідомою машиністу. Машиніст має повідомити, при якій відстані до переїзду він вважає, що це – «далеко», а при якій відстані – уже «близько».

Етап другий. Поводяться заїзди локомотива зі швидкостями від 120 до 20 км/год з дискретністю 20 км/год. Машиністу ставиться питання, яка швидкість для нього є «швидко», а починаючи з якої він вважає, що швидкість його руху «повільно». При цьому значення швидкості для машиніста не відображається.

Етап третій. З локомотива, який стоїть у зоні видимості переїзду проводиться спостереження за автомобілем, який наближається до переїзду. Автомобіль обладнаний датчиком відстані GPS. Машиніст має повідомити, коли на його думку, автомобіль знаходиться «далеко» від переїзду, а коли «близько».

Етап четвертий. З локомотива проводиться спостереження за автомобілем, який наближається до переїзду зі швидкостями у діапазоні від 90 до 5 км/год з дискретністю 15 км/год. Машиніст має повідомити, коли, на його думку, автомобіль рухається «швидко», а коли «повільно».

Вказаний експеримент дозволяє визначити функції сумісності для лінгвістичних змінних. Однак, у зв'язку з введенням військового стану, проведення експерименту стало неможливим, оскільки він пов'язаний з необхідністю відеофіксації, доступу до критичної інфраструктури та тривалим зайняттям перегону і рухомого складу. Проведення вказаного експерименту і визначення функцій сумісності є напрямками подальших досліджень.

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		83

ВИСНОВКИ

Поняття «безпека руху» у своїй основі є нечітким поняттям, тому застосування принципів нечіткої логіки для її оцінки не вимагає обґрунтування.

Аналіз наукових джерел, що присвячені впливу «людського чинника» на безпеку руху показав, що від правильності прийняття рішень людиною-оператором залежить ймовірність запобігання ЗТП або зниження їх наслідків. У вітчизняних наукових школах відзначені перспективи застосування підходів нечіткої логіки до аналізу безпеки.

Аналіз ЗТП, які трапились на залізницях України, особливо аналіз зіткнень показав, що машиністи при описі події опираються нечіткими поняттями: «автомобіль був далеко», «маршрутне таксі їхало швидко», «ми наближались до переїзду». Вказані поняття по суді являють собою значення лінгвістичних змінних, які можуть бути формалізовані з використанням відповідного апарату.

Для випадку зіткнення на залізничному переїзді вибрано дві пари базових лінгвістичних змінних «швидкість» та «відстань» у стосунку до автомобіля та до поїзда. Лінгвістичним змінним присвоєні базові обмеження (значення) – «швидко» і «повільно» - для швидкості і «далеко» та «близько» - для відстані.

Інші (проміжні) значення: «дуже далеко», «не далеко і не близько», «дуже близько», «дуже повільно», «не повільно і не швидко», «дуже швидко» можуть бути визначені з використанням математичного апарату, який наведений у третьому розділі.

У залежності від комбінацій значень лінгвістичних змінних запропоновано алгоритми дій машиніста для двох випадків:

- автомобіль уже знаходиться у межах габариту рухомого складу (тобто наявна зайнятість колії);
- автомобіль наближається до переїзду.

Очікуваними діями машиніста при цьому є: негайне застосування екстреного гальмування, готовність застосувати екстрене гальмування, подача

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		84

сигналу великої гучності. Окремі комбінації не передбачали додаткових дій, окрім передбаченої нормативними документами подачі сигналу при наближенні до переїзду у будь-якому випадку.

Наступним етапом дослідження мало стати визначення функцій сумісності експертним методом. Оскільки експеримент пов'язаний з тривалим зайняттям перегонів, рухомого складу та проведенням відеофіксації, що в умовах військового стану здійснити неможливо, це буде напрямком подальших досліджень.

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		85

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Самсонкін, В.М. Теорія безпеки на залізничному транспорті. Монографія/В.М. Самсонкін, В.І. Мойсеєнко – К.: Видавництво «Каравела», 2014. – 248 с.
2. Сидоренко, Г. Г. Людський чинник як основа безпеки руху залізничного транспорту: аналітичний огляд / Г. Г. Сидоренко, О. А. Никифорова // Транспортні системи та технології перевезень : зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. — Дніпропетровськ, 2013. — Вип. 6. — С. 86—89.
3. Сокол, Э. Н. Сходы с рельсов и столкновения подвижного состава (Судебная экспертиза. Элементы теории и практики). Київ: Транспорт України, 2002.
4. Сокол, Э. Н. Крушения железнодорожных поездов (Судебна экспертиза. Элементы теории и практики). Київ: Феникс, 2009.
5. Сокол, Э. Н. Железнодорожно-транспортное происшествие и его механизм (Судебная экспертиза. Элементы теории и практика). Львів: ПАІС, 2011.
6. Возняк, О. М. Методи, заходи та засоби підвищення безпеки руху на залізничних переїздах / О. М. Возняк // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. — 2015. — № 9. — С. 65—75.
7. Болжеларський, Я. В. Аналіз прийнятої методики розрахунку часу сповіщення та ділянки наближення залізничних переїздів / Я. В. Болжеларський, О. М. Возняк, А. С. Куйбіда // Залізничний транспорт України. — 2012. — № 6. — С. 3—7.
8. Батіг, А. В. Дослідження залізнично-транспортних пригод на залізничних переїздах / А. В. Батіг, О. М. Возняк, А. Я. Кузишин // Локомотив інформ. – 2017. – № 7–8. – С. 30–34.
9. Возняк, О. М. Забезпечення безпеки руху на залізничних переїздах : монографія / О. М. Возняк, В. І. Гаврилюк ; за заг. ред. В. І. Гаврилюка ;

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		86

Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. — Дніпропетровськ : ДНУЗТ, 2016. — 282 с.

10. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л. Заде. – М.: Изд-во «Мир», 1976, 167 с.

11. Min, A. A fuzzy reasoning and fuzzy-analytical hierarchy process based approach to the process of railway risk information: A railway risk management system / Min An, Yao Chen, Chris J. Baker // Information Sciences 181 (2011) 3946-3966

12. Min, A Aggregation of group fuzzy risk information in the railway risk decision making process / Min An, Yong Qin, Li Min Ji, Yao Chena // Safety Science 82 (2016) 18-28.

13. Правила безпеки громадян на залізничному транспорті України. Затверджені Наказом Міністерства транспорту України 19.02.1998 №54.

14. Правила поведінки громадян на залізничному транспорті. Затверджені постановою Кабінету Міністрів України від 10.11.1995 №903.

15. Правила технічної експлуатації залізниць України. Затверджені наказом Міністерства транспорту України від 20 грудня 1996 р. №411. Зі змінами, внесеними згідно з Наказами Мінтрансу №226 від 08.06.98 р., №386 від 23.07.99 р. №179 від 19.03.2002 р., № 962 від 10.12.2003 р.

16. Інструкція з експлуатації гальм рухомого складу на залізницях України ЦТ ЦВ ЦЛ 0015. (Зі змінами та доповненнями згідно з наказом від 07.06.2001 №312-Ц) – К.: Транспорт України, 2002. – 145 с.

17. Інструкція локомотивній бригаді. Затверджена наказом Укрзалізниці 22 листопада 2004 року. ЦТ-0106.

18. Інструкція з технічного обслуговування та експлуатації спеціального самохідного рухомого складу на залізницях України. Затверджена наказом Укрзалізниці від 03 квітня 2007 року ЦРБ 0033.

19. Регламент действий локомотивных бригад в аварийных и нестандартных ситуациях при работе на сопредельных участках других железнодорожных администраций. Заверджено на 50 засіданні Ради залізничного транспорту

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		87

22.05.2009.

20. Коментарі та роз'яснення щодо застосування положень Правил технічної експлуатації залізниць України. Затверджені Наказом Укрзалізниці №79-Ц від 05 квітня 2004 року. К.: Укрзалізниця, 2005. - 511 с.

21. Правила тяговых расчетов для поездной работы. - М.: Транспорт, 1985. - 287 с.

22. Гребенюк П.Т., Долганов А.Н. Скворцова А.И. Тяговые расчеты: Справочник/ Под. ред. П.Т. Гребенюка. – М.: Транспорт, 1987. – 272 с.

23. Корнійчук М.П., Липовець Н.В., Шамрай Д.О. Технологія галузі і технічні засоби залізничного транспорту. Частина 1 (розділи 1-6): Підручник. Друге видання, виправлене. – К.: «Дельта», 2008. – 504 с.

24. Дизель-поезда. Устройство, ремонт, эксплуатация: Учебник для ПТУ / Б.М. Лернер и др.- М.: Транспорт, 1982., 279 с.

25. Михайленко А.А., Дизель-поезда типа ДР. М.: Транспорт, 1990. – 334 с.

26. Сокол Э.Н. Судебная железнодорожно-транспортная экспертиза: исходная информация и ее верификация // Залізничний транспорт України. – 2010 р. – №2. – С. 24-27.

27. Сокол Э.Н., Перебийнис А.Г. Отбрасывание тела человека при его взаимодействии с локомотивом// Залізничний транспорт України, - 2009. - №1 – с. 39-41 с.

28. Я.В. Болжеларський, С.С. Довганюк, О.С. Набоченко. Визначення питомого опору руху спеціального самохідного рухомого складу експериментальним методом.

29. Методика розрахунку зупиночного шляху поїзда у судовій залізнично-транспортній експертизі [10.0.08]. Атестована методика проведення судових експертиз.

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		88

СПИСОК РИСУНКІВ

Рисунок 1 - Зміст, форма та умова спрацювання механізму залізнично-транспортної пригоди

Рисунок 2 - Умова відмови спрацювання механізму залізнично-транспортної пригоди.

Рисунок 3 – Габарит рухомого складу 1ВМ

Рисунок 4 – Схема наїзду на людину на технологічному переході

Рисунок 5 - Механізм залізнично–транспортної пригоди

Рисунок 6 - Лінгвістичне наближення функції сумісності

Рисунок 7 – Функція сумісності для значення «повільно»

Рисунок 8 – Рівняння призначення

Рисунок 9 - Призначення лінгвістичних значень характерним ознакам одиниці рухомого складу

Рисунок 10 - Ієрархічна структура лінгвістичної змінної

Рисунок 11 - Функція сумісності значень «повільно», «дуже повільно», «швидко»

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		89

СПИСОК ТАБЛИЦЬ

Таблиця I – Умовні позначення

Таблиця II – Розрахунок дійсного гальмівного шляху дизель-поїзда ДР1А №847 на ділянці після залізничного переїзду (ухил +7,8‰)

Таблиця III – Розрахунок дійсного шляху гальмування дизель-поїзда ДР1А №847 на ділянці перед залізничним переїздом (ухил +4,3‰)

Таблиця IV – Розрахунок гальмівного шляху дрезини ДГКу №2911 при застосуванні екстреного гальмування

Таблиця V – Алгоритм дій машиніста при виявленні автомобіля у межах габариту на залізничному переїзді

Таблиця VI – Алгоритм дій машиніста при виявленні автомобіля, який наближається до переїзду

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		90

АНОТАЦІЯ ТА КЛЮЧОВІ СЛОВА

Магістерська робота складається зі вступу, 4-х розділів основної частини та висновків. Загальний обсяг тексту – 93 сторінки: основний текст – 80 сторінок, бібліографія, що включає в себе 29 джерел – 3 сторінки, 11 рисунків, 6 таблиць.

Метою дослідження є підвищення безпеки руху шляхом розробки алгоритму дій машиніста при виникненні небезпеки в умовах розбіжності вимог нормативних документів щодо дій машиніста.

Об'єктом дослідження є рух поїзда (локомотива) в умовах загрози безпеці руху.

Предметом дослідження є дії машиніста щодо оцінки транспортної ситуації.

У *Вступі* обґрунтована актуальність теми з точки зору впливу результатів розслідування залізнично-транспортних пригод на долі їх учасників а також наявних розбіжностей у трактуванні окремих пунктів нормативних документів, що регламентують дії машиніста при виникненні небезпеки.

У *першому розділі* окреслений загальний стан проблеми оцінки машиністами транспортних ситуацій: проаналізовані наукові роботи з даного питання, наведена класифікація транспортних ситуацій та роль «людського чинника» у їх розвитку, проаналізована база нормативних документів і виявлені розбіжності у підходах щодо дій машиністів при виявленні небезпеки. проаналізований стан безпеки руху на АТ «Укрзалізниця», види та наслідки зіткнень рухомого складу, а також наукові джерела, які присвячені пасивній безпеці локомотивів.

Другий розділ присвячений аналізу залізнично-транспортних пригод та дій машиністів у процесі їх розвитку. Детально проаналізовано два характерні випадки – зіткнення з автомобілем на залізничному переїзді та наїзд на сторонню особу, що знаходиться на колії. Побудовані механізми залізнично-транспортних пригод і визначена можливість їх запобігання.

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		91

У *третьому розділі* наведені базові поняття нечіткої логіки у стосунку до оцінки транспортних ситуацій. Вибрані лінгвістичні змінні для випадку наближення поїзда та автомобіля до переїзду.

У *четвертому розділі* розроблений алгоритм дій машиніста у потенційно небезпечній транспортній ситуації. Розглянуто випадки, коли автомобіль у момент виявлення уже знаходиться у габариті рухомого складу і коли автомобіль наближається до залізничного переїзду. Складено план експерименту для визначення функцій сумісності лінгвістичних змінних.

Ключові слова: транспортна ситуація, дії машиніста, безпека руху, нечітка логіка, лінгвістична змінна, алгоритм.

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		92

ABSTRACT AND KEYWORDS

Master's thesis consists of introduction, 4 sections of the main body and conclusions. The total amount of text consists of 93 pages: the main text consists of 80 pages, bibliography, including the 29 names consists of 3 pages, 11 drawings and 6 tables.

The aim of the paper is to increase traffic safety by developing an algorithm for the train driver's actions in the event of danger in the conditions of conflicting requirements of regulatory documents regarding the train driver's actions.

The object of research is a movement of a train (locomotive) in conditions of a threat to traffic safety.

The subject of the research is the actions of the driver regarding the assessment of the traffic situation.

It was established that the requirements for the driver's actions when a traffic hazard is detected are fuzzy. The concept of "traffic safety" is also fuzzy. Therefore, it is advisable to use the mathematical apparatus of fuzzy logic to describe this concept. The possibility of applying the fuzzy logic apparatus to the train driver's assessment of the situation as dangerous is shown.

Keywords: traffic situation, driver's actions, traffic safety, fuzzy logic, linguistic variable, algorithm

					0040.216531.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		93