

УДК 656.2.08

Г. В. ЧИГРАЙ<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Каф. «Транспортные узлы», Белорусский государственный университет транспорта, ул. Кирова, 34, 246653, г. Гомель, Республика Беларусь, тел. +375 (232) 95 39 48, эл. почта chyhrai@mail.ru, ORCID 0000-0003-2642-4074

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ И РИСКОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕЕЗДАХ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ФАКТОРОВ

**Цель.** Целью исследования является разработка метода определения полной длины опасной зоны торможения автомобиля на основе вероятностных факторов при проектировании режимов безопасного движения на железнодорожных переездах. **Методика.** Решение задачи осуществляется на основе статистической обработки данных и подборе законов распределения исследуемых факторов. Были исследованы и оценены факторы, влияющие на безопасность движения. Это время реакции водителя, скорость движения автомобиля, коэффициент сцепления автомобильных шин с дорожным покрытием. **Результаты.** На основании статистического анализа были подобраны законы распределения исследуемых величин и установлена зависимость для определения полной длины опасной зоны торможения автомобиля на основе вероятностных факторов. **Научная новизна.** Предложенный подход к определению опасной зоны торможения на основе вероятностных факторов позволяет пересмотреть нормативы длины опасной зоны торможения на железнодорожных переездах с учетом реальных условий их эксплуатации. **Практическая значимость.** Учет вероятностных характеристик движения автомобильного транспорта показывает на необходимость проведения ряда мер, направленных на увеличение расстояния видимости и длины расчетного тормозного пути для практики проектирования и эксплуатации переездов. Ликвидация переездов позволит предотвратить инциденты и оптимизировать риски в условиях увеличения объемов перевозок на автомобильном и железнодорожном транспорте, роста скорости движения, увеличения количества автомобилей.

**Ключевые слова:** железнодорожный переезд, опасная зона торможения, продолжительность реакции, безопасность движения, нормальный закон распределения.

### Вступление

Пересечение железных и автомобильных дорог в одном уровне являются наиболее сложными и опасными участками улично-дорожной сети и оказывают существенное влияние на эффективность эксплуатации как железнодорожного, так и автомобильного видов транспорта. В настоящее время изменились условия эксплуатации железнодорожных переездов. Повысились скорость движения и масса подвижного состава железнодорожного транспорта, увеличился парк автомобилей, а, следовательно, возросли интенсивность и плотность транспортного потока [1].

Столкновение железнодорожного и автомобильного транспорта приводят к задержкам движения, повреждениям верхнего строения пути, подвижного состава, к человеческим жертвам, а также являются одной из главных причин аварий и крушений поездов. Все это оказывает влияние на экономическую составляющую перевозочного процесса, безопасности движения поездов [2].

В Республике Беларусь в среднем за год на

переездах фиксируется 15 – 17 дорожно-транспортных происшествий (ДТП), в которых погибает в среднем 15 и получают ранения 14 человек. ДТП на переездах отличаются повышенным коэффициентом тяжести последствий. Общие ежегодные потери от аварийности на переездах превышают 1,0 млн. \$ США без учета потерь от нарушения расписания на железнодорожной линии и заторовым ситуациям на автомобильной дороге (улице), а также стоимости жизни.

В разных странах различные исследования показали, что аварии на железнодорожных переездах главным образом происходят под влиянием человеческого фактора, в частности, в результате нарушения главного условия обеспечения безопасности движения на переездах: железнодорожный транспорт имеет преимущество в движении перед всеми остальными видами транспорта.

Нарушение приоритета происходит в том случае, когда водители автомобилей пытаются проследовать через закрытый переезд, запрещаящие показания переездных светофоров, а

также в случае неправильных приемов управления или неисправности транспортное средство загромождает переезд.

Исследования ученых США показали, что только 60 % водителей транспортных средств остановились перед дорожным знаком «STOP» у железнодорожного переезда, 40 % игнорируют данный знак и пересекают железнодорожные переезды без остановки.

В Австралии исследовано 85 аварий с гибелью людей и было установлено, что только 80 % водителей знали, как правильно пересекать переезд. До 33 % водителей в Германии считают, что они не должны останавливаться на железнодорожном переезде при мигающем красном свете светофора. Одна треть опрошенных водителей недовольна долгим временем ожидания на закрытых железнодорожных переездах.

Более 60 % столкновений поездов с сухопутными транспортными средствами, около 20 % наездов на пешеходов со смертельным исходом и около 35 % тяжело раненых составляют происшествия именно в этих проблемных местах железной дороги Литвы [3-5].

Лихачество и безответственность водителей в опасной зоне приводит к непоправимым трагедиям. На рис.1 приведена статистика дорожно-транспортных происшествий на железнодорожных переездах РБ за 2010 – 2014 гг.

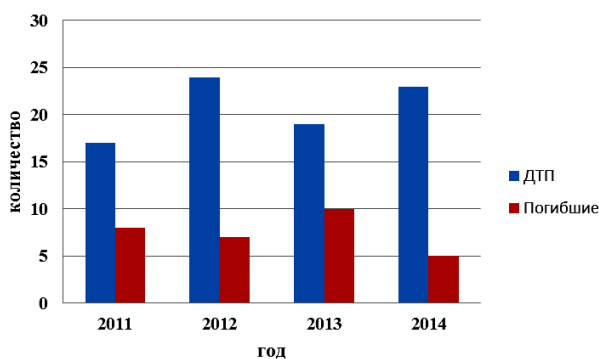


Рис.1. Количество ДТП на переездах

Все случаи произошли не по вине работников железнодорожного транспорта, а являются результатом прямого нарушения Правил дорожного движения.

Кардинальным решением улучшения безопасности движения является устройство пересечений железных и автомобильных дорог в разных уровнях.

В настоящее время для уменьшения количества ДТП на территории ряда стран (Великобри-

тания, Германия, Испания, России, Финляндии, США и др.) решено отказаться от использования железнодорожных переездов в пользу тоннелей и путепроводов. Однако данный способ требует значительных финансовых вложений, которые могут оказаться неоправданными для переездов с небольшими размерами автомобильного и железнодорожного движения. Поэтому даже в странах с высоко развитой экономикой сохраняется достаточно большое количество переездов, в том числе не оборудованных современными системами переездной автоматики и сигнализации.

## Цель

Целью исследования является разработка метода проектирования режимов безопасного движения на железнодорожных переездах с учетом влияния вероятностных факторов.

## Методика

Исследования показывают, что проектирование режимов безопасного движения на переездах нуждается в существенных изменениях, так как основывается на детерминированном подходе прогнозирования состояния безопасности движения (отсутствие случайных факторов). Однако в реальных условиях продолжительность реакции водителей и машинистов, коэффициент сцепления и другие факторы являются случайными величинами.

Для практики проектирования и эксплуатации железнодорожных переездов важно установить опасную зону торможения – это расстояние, на котором остановится автомобиль с учетом всех факторов.

В общем виде выражение для расчета полной длины опасной зоны торможения имеет вид

$$L_{\text{оз}} = v_a \bar{t}_p + \frac{K_3 v_a^2}{2g(\varphi \pm i_a)} + l_n + l_a + \Delta, \quad (1)$$

где  $v_a$  – скорость движения автомобиля в начале опасной зоны, км/ч;

$\bar{t}_p$  – время реакции водителя, с;

$K_3$  – коэффициент эксплуатационных условий торможения;

$\varphi$  – коэффициент сцепления автомобильных шин с дорожным покрытием;

$i_a$  – уклон автомобильной дороги, ‰;  $l_n$  – расстояние от входного до выходного шлагбаумов, м;

$l_a$  – длина автомобиля, м [6].

Обозначив в формуле (1)

$$l_p = v_a \bar{t}_p \text{ и } l_T = \frac{K_3 v_a^2}{2g(\varphi \pm i_a)}, \quad (2)$$

получено

$$l_{от} = l_p + l_T, \quad (3)$$

где  $l_{от}$  – длина опасной зоны торможения, м;

$l_p$  – расстояние, проходимое автомобилем за время реакции водителя, м;

$l_T$  – длина тормозного пути автомобиля, м.

Выполненные исследования показывают, что продолжительность реакции водителя описывается нормальным законом распределения, т. е.

$$P(t_p) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp - \frac{(t_p - \bar{t}_p)^2}{2\sigma^2}, \quad (4)$$

где  $\bar{t}_p$  – математическое ожидание продолжительности реакции водителя, с;

$\sigma$  – среднее квадратическое отклонение продолжительности реакции водителя, с.

Если случайна величина  $t_p$ , то будет случайной и величина  $l_p$  и описывается нормальным законом распределения. Поэтому для уменьшения случаев крушений, аварий и браков важное значение имеет разработка эталонных алгоритмов и методик проектирования (эксплуатации) транспортных объектов.

Еще более сложный характер имеет такая величина, как тормозной путь автомобиля, так как у каждого транспортного средства свои характеристики и параметры. Определить распределение вероятностей величины  $l_T$  аналитически чрезвычайно сложно.

Очевидно, что параметр  $\varphi$  носит явно случайный характер. Учет всех факторов, влияющих на коэффициент сцепления весьма сложен. Изменение коэффициента сцепления носит случайный характер. Его прогнозирование представляет сложную задачу. Ввиду отсутствия простых и надежных методов контроля и регулирования величины коэффициента сцепления эта проблема практически еще не разрешена. Однако для практического решения может быть использована задача установления статистических закономерностей распределения значений коэффициента сцепления, вероятности той или иной его величины на данном полигоне автомобильных дорог.

## Результаты

Были выполнены расчеты величина  $l_p$  при различных значениях скорости движения автомобиля, реакции водителя. На рис. 2 представлен график зависимости длины опасной зоны торможения.

Например, при  $\bar{v} = 40$  км/ч,  $\bar{t} = 1$  с,  $\sigma = 0,15$  с:

$$l_p = 11,11 \cdot 1 + 3 \cdot 11,11 \cdot 0,15 = 16,11 \text{ м.}$$

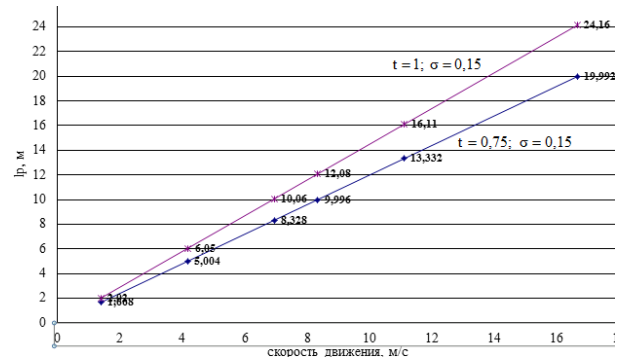


Рис. 2. График зависимости длины опасной зоны торможения

Принятые в действующей практике нормативы длины опасной зоны торможения на переездах не соответствуют реальным условиям эксплуатации. Расчеты показали, что в диапазоне скорости движения от 5 до 60 км/ч относительная ошибка в определении важнейшего параметра безопасности движения на переезде детерминированным методом составляет 40 – 60 % и требует изменения сложившейся ситуации.

## Научная новизна и практическая значимость

Предложенный подход к определению опасной зоны торможения на основе вероятностных факторов позволяет пересмотреть нормативы длины опасной зоны торможения на железнодорожных переездах с учетом реальных условий их эксплуатации. Учет вероятностных характеристик движения автомобильного транспорта показывает на необходимость проведения ряда мер, направленных на увеличение расстояния видимости и длины расчетного тормозного пути для практики проектирования и эксплуатации переездов. Ликвидация переездов позволит предотвратить инциденты и оптимизировать риски в условиях увеличения объемов перевозок на автомобильном и железнодорожном транспорте, роста скорости движения, увеличения количества автомобилей.

## Выводы

Рассмотренный подход отличается от детерминированного высокой степенью адаптивности к реальным условиям функционирования железнодорожных переездов. Исследования, проведенные в разных странах, показывают, что уровень безопасности движения на железнодорожных переездах по-прежнему неудовлетворительный. Предлагаются две меры для улучшения положения – это устранение пересечений автомобильных и железных дорог в одном уровне и применение более строгих мер по обеспечению безопасности движения на действующих переездах.

В связи с ростом объемов перевозок автомобильным и железнодорожным транспортом, ростом скоростей движения вопрос об устройстве пересечений дорог в разных уровнях является актуальным и становится неизбежным.

Несоблюдение водителями Правил дорожного движения является одной из основных причин ДТП во всех странах мира, в т.ч. и в Республике Беларусь.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рожанский, Д. В. Повышение безопасности движения в зоне железнодорожных переездов / Д. В. Рожанский, С. Н. Карасевич // Вестник Белорусско-

го национального технического университета. – 2007. – № 2. – С. 60 – 65.

2. Тарасов, А. В. О безопасности движения на неохраняемых переездах / А. В. Тарасов, // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2014. – № 1. – С. 33-40.

3. Rakotonairy, A. Use of ITS improve level crossings safety / A. Rakotonairy, D. Soole, G. Larue // The 11th Level Crossing Symposium. – Tokyo, 2010. – P. 38-51.

4. Savage, I. Does public education improve railhighway crossing safety? / I. Savage // Accident Analysis and Prevention. 2006. – Vol. 38. – № 2. – P. 310 – 316.

5. Бурейка, Г. А. Оценка аварийности на железнодорожных переездах / Г. А. Бурейка, Л. Г. Людинавичюс // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2013. – Вип. 1 (43). – С. 13 – 19.

6. Путь и безопасность движения поездов / под ред. В. Я. Шульги. 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Транспорт, 1994. – 199 с.

*Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. Негреем В. Я. (Республика Беларусь)*

Поступила в редколлегию 27.11.2015.

Принята к печати 29.11.2015.

Г. В. ЧІГРАЙ

## ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ БЕЗПЕКИ РУХУ ТА РИЗИКІВ НА ЗАЛІЗНИЧНИМ ПЕРЕЇЗДАХ З УРАХУВАННЯМ ВПЛИВУ ІМОВІРНІСНИЙ ФАКТОРІВ

**Мета.** Метою дослідження є розробка методу визначення повної довжини небезпечної зони гальмування автомобіля на основі імовірнісних факторів при проектуванні режимів безпечного руху на залізничних переїздах. **Методика.** Рішення задачі здійснюється на основі статистичної обробки даних і підборі законів розподілу досліджуваних чинників. Були досліджені й оцінені фактори, що впливають на безпеку руху. Це час реакції водія, швидкість руху автомобіля, коефіцієнт зчеплення автомобільних шин з дорожнім покриттям. **Результати.** На підставі статистичного аналізу були підібрані закони розподілу досліджуваних величин і встановлена залежність для визначення повної довжини небезпечної зони гальмування автомобіля на основі імовірнісних факторів. **Наукова новизна.** Запропонований підхід до визначення небезпечної зони гальмування на основі імовірнісних факторів дозволяє переглянути нормативи довжини небезпечної зони гальмування на залізничних переїздах з урахуванням реальних умов їх експлуатації. **Практична значимість.** Облік імовірнісних характеристик руху автомобільного транспорту показує на необхідність проведення низки заходів, спрямованих на збільшення відстані видимості і довжини розрахункового гальмівного шляху для практики проектування і експлуатації переїздів. Ліквідація переїздів дозволить запобігти інцидентам і оптимізувати ризики в умовах збільшення обсягів перевезень на автомобільному та залізничному транспорті, зростання швидкості руху, збільшення кількості автомобілів.

**Ключові слова:** залізничний переїзд, небезпечна зона гальмування, тривалість реакції, без-небезпека руху, нормальний закон розподілу.

## **PREDICTION STATE TRAFFIC SAFETY AT RISK AND CROSSINGS ZHELEZNODORODNYH WITH THE INFLUENCE OF THE PROBABILITY FACTOR**

**Purpose.** The aim of the study is to develop a method of determining the total length of the danger zone braking of the vehicle on the basis of probabilistic factors in the design of modes of traffic safety on railway crossings. **Methodology.** The problem solution is performed on the basis of statistical processing of data and selection of the laws of distribution of the studied factors. Were studied and evaluated the factors affecting traffic safety. It is the driver's reaction time, the vehicle speed, the adhesion coefficient of automobile tire and the road surface. **Findings.** On the basis of the statistical analysis were selected laws of distribution of the investigated variables and the dependence for determining the total length of the danger zone braking of the vehicle on the basis of probabilistic factors. **Originality.** The proposed approach to the definition of dangerous zone of inhibition on the basis of Vero atrocistic factors allow us to review the standards of length of the danger zone of inhibition at level crossings taking into account the real conditions of their operation. **Practical value.** The stochastic characteristics of road transport shows the need for a number of measures aimed at increasing the visibility distance and the length of the calculated braking distances for practice of the design and operation of crossings. The elimination of one level crossing to prevent incidents and to minimize the risks in terms of increased transport volumes on road and rail transport, growth speed, increasing the number of cars.

*Keywords:* railway crossing, danger zone of inhibition, the duration of the reaction, without risk of movement, normal law of distribution.