



Обоснование безопасных расстояний перехода через пути



Анатолий АННЕНКОВ
Anatoly M. ANNENKOV

Андрей ВОЛКОВ
Andrey V. VOLKOV



Любовь ПТУШКИНА
Lyubov V. PTUSHKINA

Анненков Анатолий Митрофанович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Управление безопасностью в техносфере» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.
Волков Андрей Владимирович – кандидат технических наук, доцент МИИТ, Москва, Россия.
Птушкина Любовь Викторовна – аспирант МИИТ, Москва, Россия.

Justification of Safe Distances for Track Crossing

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 196)

Немалое количество происшествий (наездов на людей) на путях движения поезда заставляет изучать поведение человека, его реакции, оценку угроз в районе «участков приближения», выбора безопасного для себя времени в пределах визуально контролируемого расстояния.

В статье представлены измерения времени перехода пешеходов через железнодорожные пути для различных условий и ситуаций. Практическое применение полученных зависимостей предполагает сферу проектирования средств обеспечения безопасности и создания новых технических устройств в зоне ответственности железных дорог, в том числе обоснование требований к существующим системам сигнализации на пешеходных переходах.

Ключевые слова: железнодорожные пути, участок приближения, пешеходный переход, время перехода, безопасное расстояние, скорость движения поезда.

Для реализации права гражданина на получение железнодорожных услуг ему необходимо прибыть к месту посадки в поезд, а после выхода из вагона в пункте назначения – достигнуть места пользования другим видом транспорта. Кроме того, значительная часть граждан для осуществления сложившихся коммуникационных связей переходит пути в одном уровне к объектам социального назначения (магазинам, рынкам, учебным заведениям и др.) в зоне ответственности железнодорожного транспорта и расположенного рядом населённого пункта.

Такие переходы люди совершают как по специально оборудованным пешеходным настилам, так и в неустановленных, необорудованных для этих целей местах. Согласно статистическим данным [1], около 90% случаев травмирования в зоне ответственности железнодорожного транспорта происходят в результате наезда подвижного состава. Пострадавшие, как правило, или пренебрегают правилами



Рис. 1. Измерение времени перехода через пути.

безопасности, или оказываются не в состоянии реально оценить степень приближающейся угрозы.

В технической литературе утвердился термин «участок приближения».

Совершенно очевидно, что при определении условий безопасности перехода каждый из пешеходов, в первую очередь, оценивает время, которое он затратит непосредственно на переход. Сопоставляя это время с прогнозируемым для подхода подвижного состава, человек дает оценку степени безопасности предстоящего своего действия. В статье представлены измерения времени движения через железнодорожные пути пешеходов для различных ситуаций, которые имеют место в зоне перехода.

Для измерения была использована видеозапись формата HD. Замеры проводились на двухпутном участке от момента пересечения плоскости, проходящей через крайний рельс первого пути, до выхода за плоскость аналогичного крайнего рельса второго пути.

Наличие четких ориентиров (рельсы) позволило с максимальной погрешностью не более 100 мм регистрировать процесс перехода отдельными гражданами. Как показано на рис. 1, база измерения $L_{изм} = 5740$ мм. Столь значительная база (почти

в 6 м) дает возможность снизить до минимума влияние абсолютной погрешности измерения $\Delta = \pm(100 + 100) = \pm 200$ мм на общий результат. Относительная погрешность составит не более $\delta \leq 3,5\%$. К примеру, в выполненном ранее исследовании [3] измерялось время перехода через колею пути (1520 мм) и при той же абсолютной погрешности относительная погрешность составляла около $\delta \approx 13\%$, что не могло обеспечить достаточную точность конечного результата.

Безопасность пешехода обеспечивается для максимальной скорости состава менее 160 км/ч при нахождении человека на расстоянии не менее $L_{без} = 2$ м от ближнего к нему рельса. С учетом этого общая длина перехода через один путь, гарантирующая безопасность пешеходу, составит:

$$L_{пер} = L_{без} + 1520 + L_{без} + B, \quad (1)$$

где B – габарит тела человека определяется согласно [5] формулой

$$B = b1(P 95) + \epsilon, \quad (2)$$

где $b1(P 95)$ – толщина тела человека, принимаемая равной 342 мм для 95-го перцентиля и 361 мм – для 99-го перцентиля;

ϵ – суммарная поправка на случайные движения тела и одежду.

В документе ГОСТ Р ЕН 547-3-2009 рекомендуется при определении ϵ прибавлять поправки по ширине во фронтальной



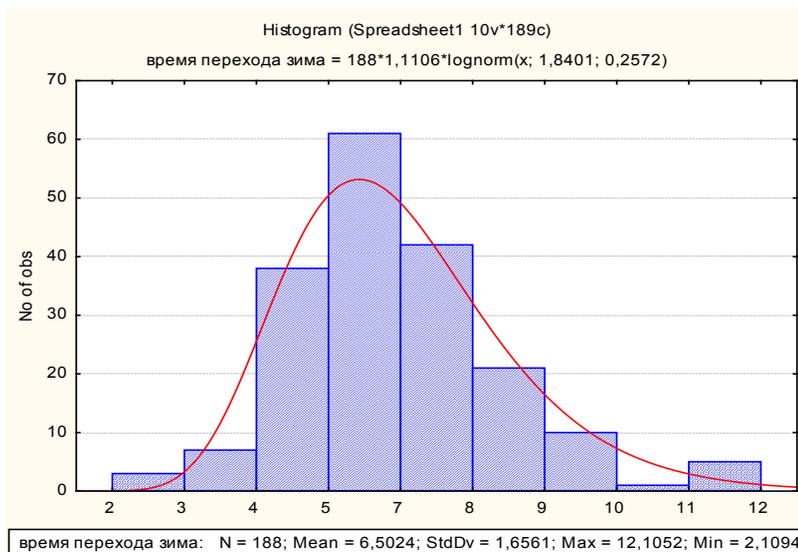


Рис. 2. Статистика времени перехода в нормальных погодных условиях без затеснения.

проекции в качестве основной для движения тела 100 мм и на тяжелую зимнюю или личную защитную одежду также 100 мм.

В качестве расчетного $b1(P\ 99)$ принимаем значение 361 мм. В итоге величина $L_{\text{пер}}$ для рассмотренных условий составит:
 $L_{\text{пер}} = 2000 + 1520 + 2000 + 361 + 100 + 100 = 6081$ мм.

С учетом полученного результата время каждого измерения на отрезке $L_{\text{изм}} = 5740$ мм следует откорректировать, умножив на поправочный коэффициент $\beta = L_{\text{пер}} / L_{\text{изм}} = 1,059$.

Теперь рассмотрим результаты статистической обработки замеров времени перехода в относительно благоприятных погодных условиях зимнего периода в дневное время (чистого, без гололёда и снега настила перехода) и при отсутствии взаимного влияния пешеходов друг на друга (рис. 2). Последнее обстоятельство является весьма значимым, как это будет показано далее.

Для расчетов числа групп в вариационном ряду воспользуемся известной формулой Стерджесса: $K \approx 1 + 1,44 \ln n = 8,54 \approx 9$ интервалов.

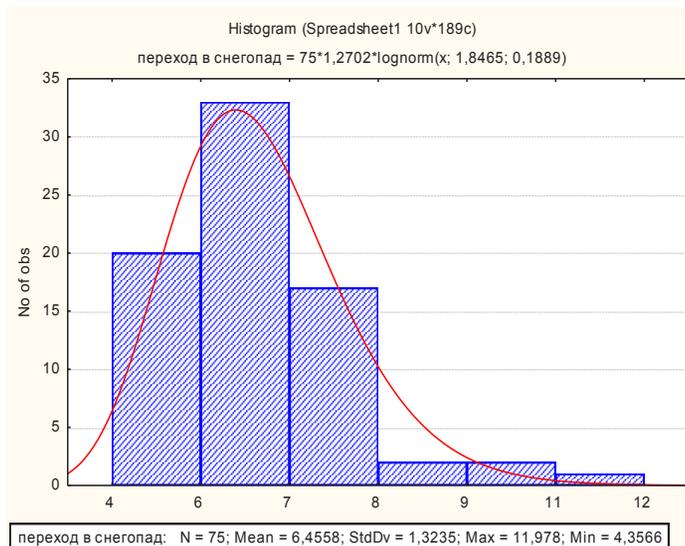


Рис. 3. Статистика времени перехода в условиях снегопада без затеснения.

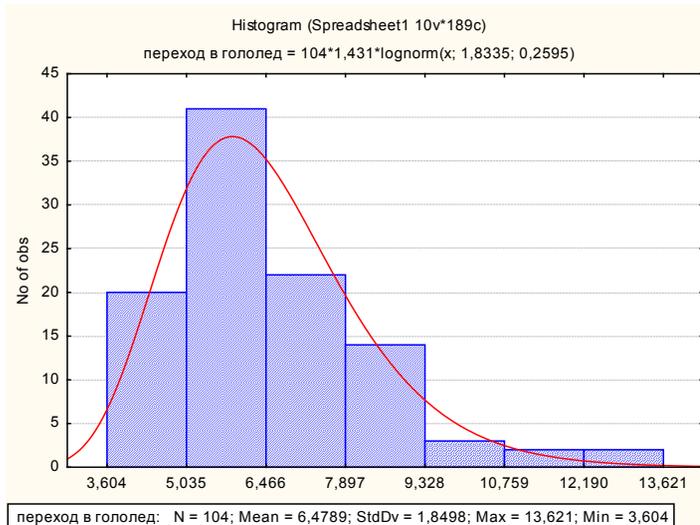


Рис. 4. Статистика времени перехода в условиях гололедных явлений без затеснения.

При этом будем придерживаться правила, чтобы в каждый из интервалов изменения времени перехода попадало не менее трех измерений.

Минимальные зафиксированные значения 2,0–3,0 с на самом деле уже соответствуют бегу, что, впрочем, также имеет место. В качестве теоретического принят логарифмически нормальный закон распределения (сокращенно – логнормальный), функция плотности которого имеет вид:

$$f(t) = \frac{1}{t\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln t - \mu)^2}{2\sigma^2}}, t > 0. \quad (3)$$

Подставляя полученные по выборке параметры, запишем:

$$f(t) = \frac{1}{0,458\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln t - 1,782)^2}{0,132}}.$$

Математическое ожидание времени перехода составило $m_t = 6,50$ с, среднеквадратическое отклонение $\sigma_t = 1,66$ с:

$$m_t = e^{\frac{\mu + \sigma^2}{2}} = e^{1,84 + \frac{0,257^2}{2}} = e^{1,87} = 6,50 \text{ с}$$

$$\sigma_t = (e^{\sigma^2} - 1)e^{2\mu + \sigma^2} \text{ и } = \sqrt{D_t} = 1,66 \text{ с.}$$

Рассмотрим влияние погодных условий. Прежде всего, проанализируем данные, полученные в условиях снегопада, но без гололедных явлений. Как видно из гистограммы рис. 3, это распределение имеет ярко выраженную правостороннюю асимметрию и может быть также описано логарифмически нормальным законом.

Пожалуй, единственным отличием от обычных условий является рост минималь-

ных значений времени перехода через пути с 2,01 до 4,36 с. При недостаточной видимости (данные снимались на переходе третьей категории) меняется стереотип поведения: граждане приостанавливаются в зоне накопления и, убедившись, что поезда нет, стараются перейти за минимальное время.

Значительно сильнее на увеличении времени перехода сказывается наличие гололеда (рис. 4).

В основном это выражается в росте дисперсии времени перехода. Если для обычных условий среднеквадратическое отклонение $\sigma_t = 1,66$ с, то здесь оно составляет уже 1,85 с. В целом переход через железнодорожные пути по настилу при наличии гололедных явлений можно рассматривать в качестве экстремального распределения времени перехода, и именно эти данные должны определять гарантийное время перехода.

Другим примером перехода в экстремальный момент является движение в условиях затеснения, когда ширины настила хватает только для движения в колонну по одному в каждом направлении. В этом случае медленный темп кого-то из пешеходов определяет темп движения всей колонны и нет возможности его обогнать, не сойдя с настила. Отличительной особенностью такой ситуации будет рост среднего времени, затрачиваемого людьми на переход – с 6,48 до 8,29 с. Однако максимальные значения при этом все те же – около 14 с, как это видно из рис. 5.



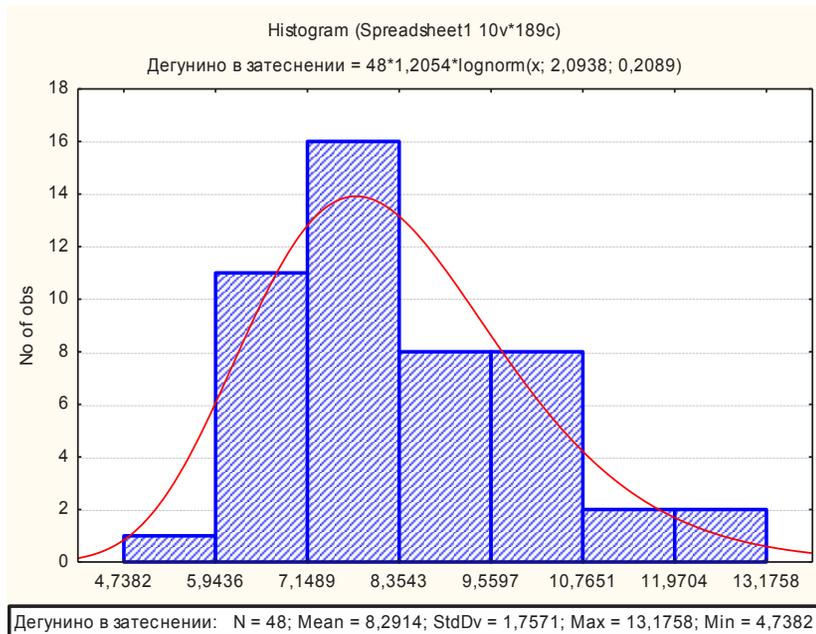


Рис. 5. Статистика времени перехода на станции Дегунино в условиях затеснения без гололедных явлений.

Проверка по критериям согласия показывает, что оба этих распределения принадлежат одной генеральной совокупности, вид распределения которой показан на рис. 6.

Сопоставим полученные данные с результатами экспертных оценок. Подсчита-

ем для тех же условий вероятности обеспечения безопасности:

$$T_{\text{прибл}} = X / v_{\text{max}} \text{ и } P_{\text{без}} = P(T_{\text{прибл}} > t_{\text{перрасс}}). \quad (4)$$

Вероятность попадания случайной величины, распределенной по логнормальному закону, в область $X > x$, находим по известной формуле:

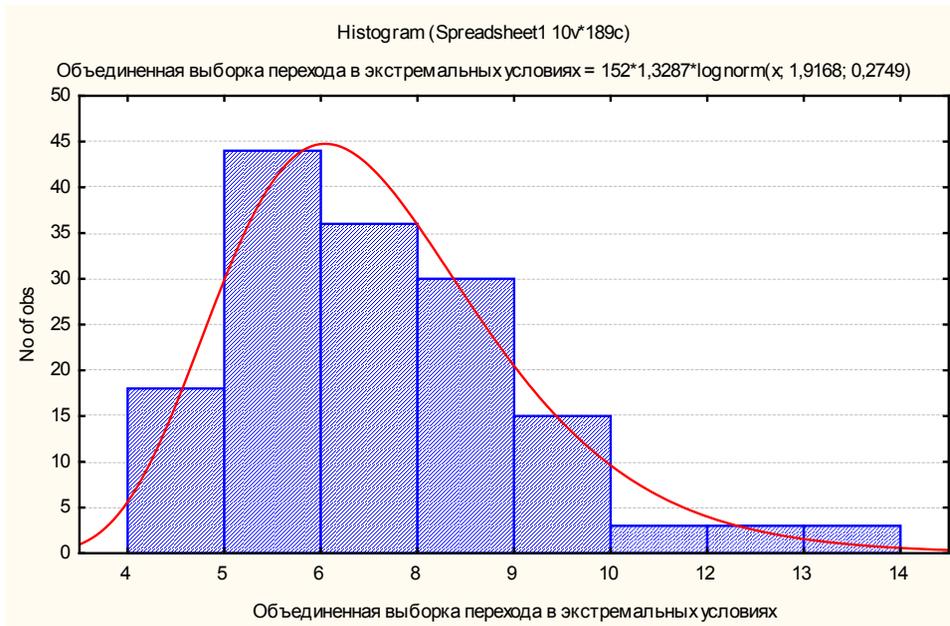


Рис. 6. Статистика времени перехода в экстремальных условиях: N = 152; Mean = 7,065; StdDv = 2,0395; Max = 14,234; Min = 3,604.

Скорректированные оценки безопасности

Расстояние до приближающегося подвижного состава, м	200	300	400	500	600	800	1000
Диапазон скоростей, км/ч	Вероятность обеспечения безопасности						
20–40 км/ч	0,97429	0,99995	0,999998	1	1	1	1
40–60 км/ч	опасно	0,97429	0,99959	0,99993	0,999998	1	1
60–80 км/ч	опасно	опасно	0,97429	0,99884	0,999947	0,999998	1
80–100 км/ч	опасно	опасно	опасно	0,97429	0,997829	0,999984	1
100–160 м/ч	опасно	опасно	опасно	опасно	опасно	0,97429	0,99884

$$P(T \leq t) = P\left(T \leq \frac{\ln t - \mu}{\sigma}\right). \quad (5)$$

Тем не менее любой человек, прежде чем войти в опасную зону, должен убедиться в безопасности перехода. Поэтому в расчетах брать «чистое время перехода» недопустимо, следует учесть время на обнаружение опасного объекта и время на принятие решения. Максимальное значение (с доверительной вероятностью 0,99) дополнительного времени при пересечении путей окажется равным 6,0 с.

С учетом принятых допущений получаем скорректированные оценки безопасности, приведенные в таблице 1.

Для каждого из приведенных диапазонов скоростей получены уравнения регрессии, позволяющие для любого заданного значения вероятности обеспечения безопасности рассчитать участок приближения. В таблице 1 к категории «опасно» мы отнесли ситуации, когда вероятность безопасности ниже 0,95. В целом демонстрируемые расчетные данные хорошо коррелируют с данными экспертных оценок. Это еще раз подтверждает правильность выбора параметров распределения времени перехода через железнодорожные пути по пешеходному настилу.

Применение полученных зависимостей касается преимущественно обоснования требований к системам сигнализации на пешеходных переходах через железнодорожные пути [9, 11]. Но сама экспериментальная основа исследования имеет и методологическую ценность, поскольку простота

решений всегда привлекает именно практиков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анализ состояния охраны труда, электробезопасности, промышленной и пожарной безопасности, производственного травматизма в Московской дирекции инфраструктуры ОАО «РЖД» за 2014 год.

2. Жуков В. И., Волков А. В., Птушкина Л. В. Повышение безопасности на пешеходных переходах через железнодорожные пути // Путь и путевое хозяйство. – 2014. – № 9. – С. 32–37.

3. Шевандин М. А., Анненков А. М., Выгнанова Т. М. Оценка опасности наезда и средства защиты при переходе железнодорожных путей: Методические указания к дипломному проектированию. – М., 1985. – 46 с.

4. Пешеходные переходы через железнодорожные пути. Технические требования, утвержденные распоряжением ОАО «РЖД» от 23.12.2009 № 2655р – с изменениями, внесенными 09.09.2010 № 1896р.

5. Жуков В. И., Волков А. В., Птушкина Л. В. Совершенствование пешеходных переходов через железнодорожные пути // Путь и путевое хозяйство. – 2013. – № 9. – С. 22–25.

6. Безопасность жизнедеятельности: учебник в 2 ч. – Ч. 2: Безопасность труда на железнодорожном транспорте / В. М. Пономарёв и др.; под ред. В. М. Пономарёва, В. И. Жукова. – М.: УМЦ ЖДТ, 2014. – 607 с.

7. Системы автоматики и телемеханики на железных дорогах мира: Учеб. пособие / Пер. с англ. – М.: Интекст, 2010. – 496 с.

8. Безопасность движения на железных дорогах: Учеб. пособие. В 2 ч. – Ч. 1: Основы безопасности / Балалаев С. В., Кологривая И. Е. – Хабаровск: ДВГУПС, 2013. – 111 с.

9. Системы информирования о движении поездов и оповещения о приближении железнодорожного подвижного состава. Общие требования. ГОСТ Р 55804–2013. [Электронный ресурс]: http://standartgost.ru/gost_r_55804-2013. Доступ 03.11.2015.

10. Техника безопасности при выполнении работ. Общие меры безопасности на железнодорожных путях. [Электронный ресурс]: http://ohrana-bgd.narod.ru/jdtrans/jdtrans2_008.html. Доступ 03.11.2015.

11. СП 227.1326000.2014 Пересечения железнодорожных линий с линиями транспорта и инженерными сетями. [Электронный ресурс]: <http://docs.cntd.ru/document/1200120205>. Доступ 03.11.2015.

Координаты авторов: **Анненков А. М.** – (495) 684–2169, **Волков А. В.** – anvolkov2006@yandex.ru, **Птушкина Л. В.** – PtushkinaBGD@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 03.11.2015, принята к публикации 18.01.2016.

