



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

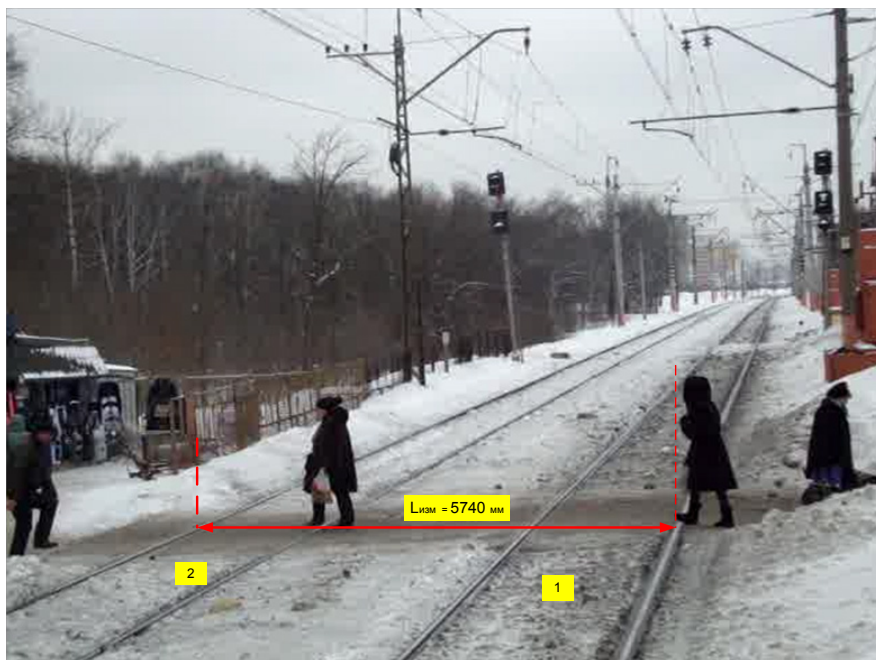


Рис. 1. Измерение времени перехода через пути.

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 перцентилля и 361 мм – для 99-го перцентилля;

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



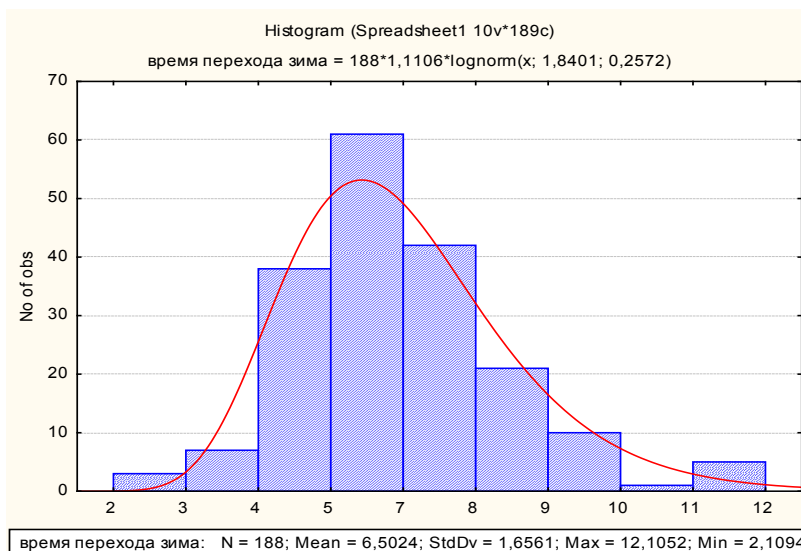


Рис. 2. Статистика времени перехода в нормальных погодных условиях без затеснения.

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 $L_{пер}$ для рассмотренных условий составит:
 $L_{пер} = 2000 + 1520 + 2000 + 361 + 100 + 100 = 6081$ мм.

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

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.

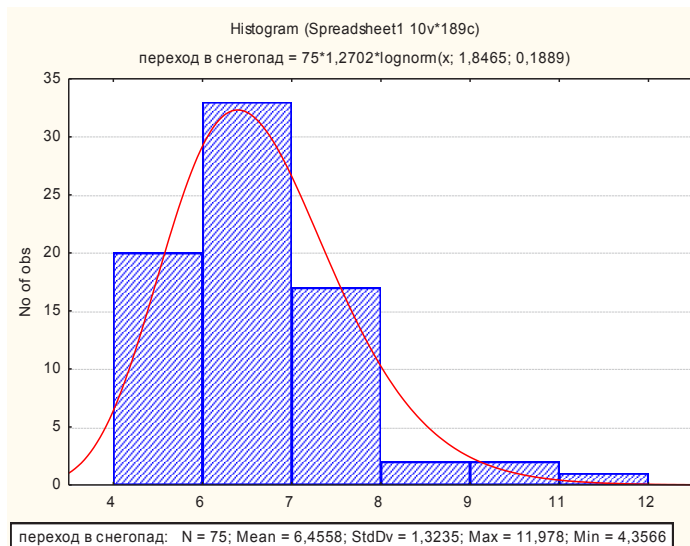


Рис. 3. Статистика времени перехода в условиях снегопада без затеснения.

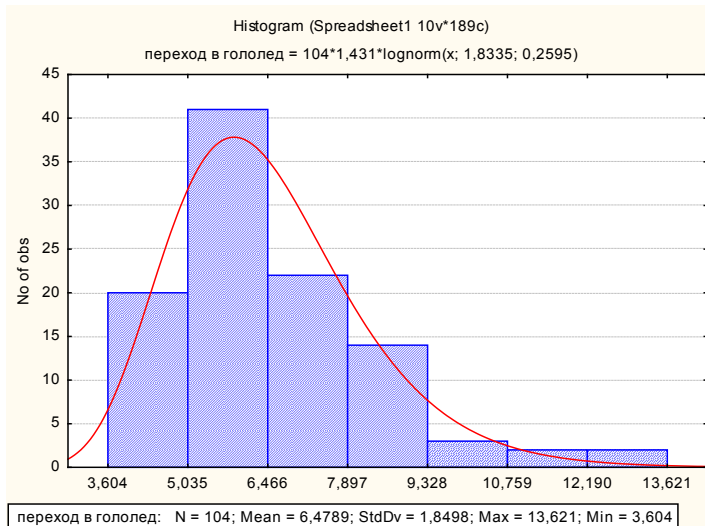


Рис. 4. Статистика времени перехода в условиях гололедных явлений без затеснения.

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.



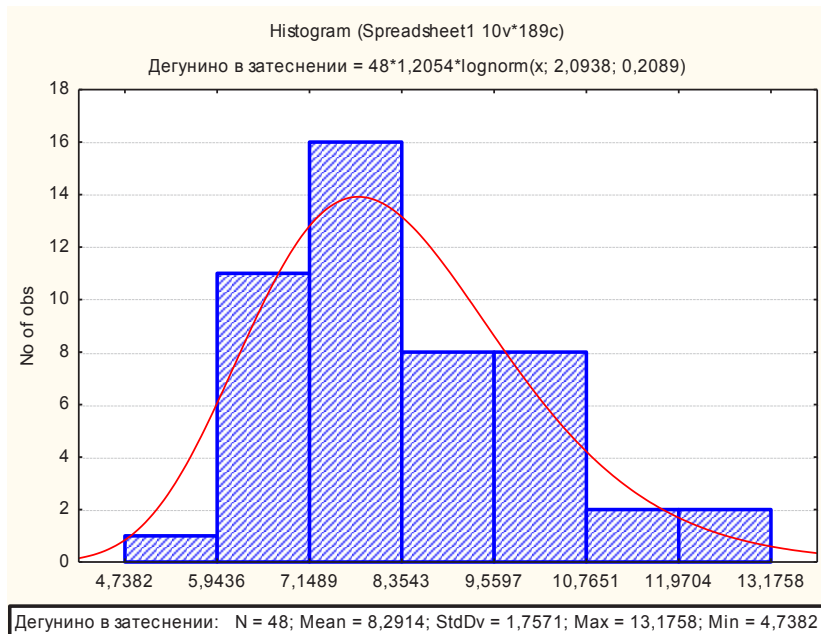


Рис. 5. Статистика времени перехода на станции Дегунино в условиях затеснения без гололедных явлений.

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:

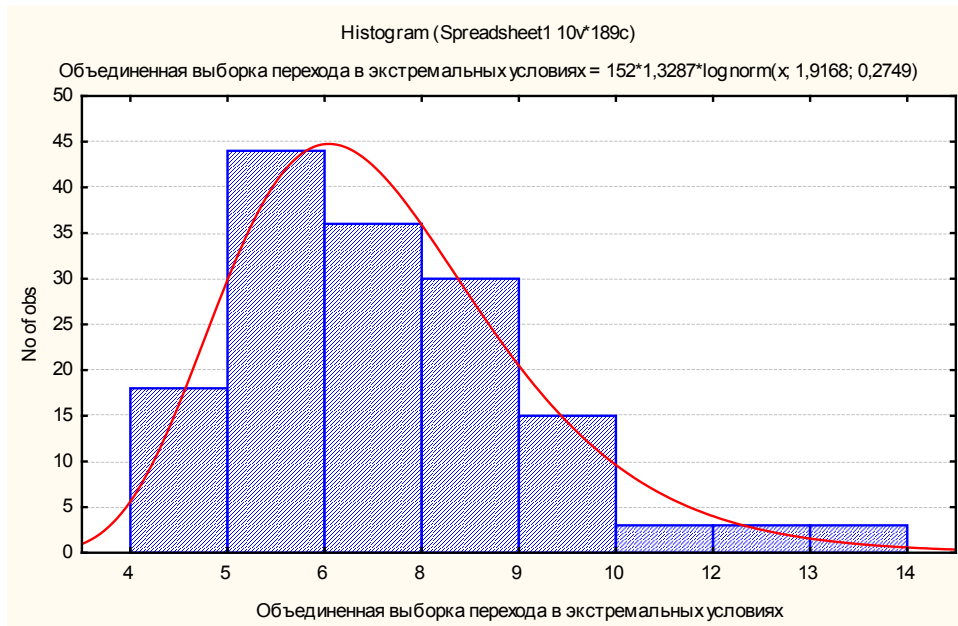


Рис. 6. Статистика времени перехода в экстремальных условиях: N = 152; Mean = 7,065; StdDv = 2,0395; Max = 14,234; Min = 3,604.

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.



JUSTIFICATION OF SAFE DISTANCES FOR TRACK CROSSING

Annenkov, Anatoly M., Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

Volkov, Andrey V., Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

Ptushkina, Lyubov V., Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

ABSTRACT

A considerable number of accidents (collisions with people) on the tracks makes it necessary to study behavior of pedestrians, their reaction, criteria of threat assessment in the zone of «areas of approaching», and of selection of a safe time for themselves within a visually controlled distance. The paper presents results of measurements and

calculations of time that pedestrians need to safely cross the tracks under different conditions and in diverse situations. Practical application of obtained dependences suggests the scope of design of safety equipment and the creation of new technical devices in the zone of responsibility of railways, including the rationale for requirements for existing signaling systems at pedestrian crossings.

Keywords: rail track, area of approaching, pedestrian crossing, crossing time, safe distance, train speed.

Background. For realization of a right of a citizen to receive rail service he should come to the place of boarding, and after leaving the coach at destination he should reach places where this person could board another mode of transport. In addition, a significant proportion of citizens cross tracks at the same level for implementation of existing communication links to social facilities (shops, markets, schools, etc.) in the zone of responsibility of the railway transport and of a nearby locality.

Such crossings are made by people at specially equipped walkways, as well as in non-equipped for those purposes places. According to statistical data [1], people get about 90% of injuries in the area of responsibility of railway transport in case of collision of the rolling stock. The victims usually either neglect safety rules, or are not capable to assess real level of approaching danger.

The term approaching area (or area of safe approaching to the dangerous zone) is established in the technical literature.

It is obvious that in determining conditions of safe crossing, each of pedestrians, primarily evaluates the time he will spend directly on the crossing. Comparing this time with predicted for rolling stock approach, the person is required to evaluate the safety of his forthcoming action. The paper presents the approaches to measuring and calculating safety time that pedestrians need to cross railway track in different situations that occur in the crossing zone.

Objective. The objective of the authors is to consider safety issues in relation to crossing railway tracks by pedestrians in various weather conditions.

Methods. The authors use statistical analysis, comparison, mathematical apparatus, field observations. HD video format was used for the measurement. Measurements were carried out on double-track section from the moment of crossing the plane passing through

the outermost rail of the first track to the exit of the plane of the same extreme path of the second track.

Results.

Presence of clear landmarks (rails) allows with a maximum error of not more than 100 mm to register crossing process of individuals. As shown in Pic. 1 measurement $L_{meas} = 5740$ mm. Such a significant base (almost 6 meters) makes it possible to minimize the influence of the absolute measurement error $\Delta = \pm (100 + 100) = \pm 200$ mm on the overall result. The relative error is no more than $\delta \leq 3,5\%$. For example, in previous studies [3] researchers measured time of crossing the track gauge (1520 mm) and at the same absolute error relative error was about $\delta \approx 13\%$, which could not provide sufficient accuracy of the final result.

Pedestrian safety is ensured for a maximum speed of a train of less than 160 km/h while a person is at a distance not less than $L_{safe} = 2$ m from the rail closest to the pedestrian. With this in mind, the total length of the crossing through one track that ensures the safety of pedestrians, will be:

$$L_{cr} = L_{safe} + 1520 + L_{safe} + B, \quad (1)$$

where B is human body size, determined according to [5] by formula

$$B = b1(P95) + \varepsilon, \quad (2)$$

where $b1(P95)$ is body thickness, assumed to be 342 mm for 95th percentile and 361 mm – for 99th percentile;

ε is total correction for random movements of the body and clothing.

In the document GOST REH 547-3-2009 [Russian state standard] it is recommended in determining ε to add adjustments in width in the front projection as the main for body movement of 100 mm and for heavy winter or personal protective clothing also of 100 mm.

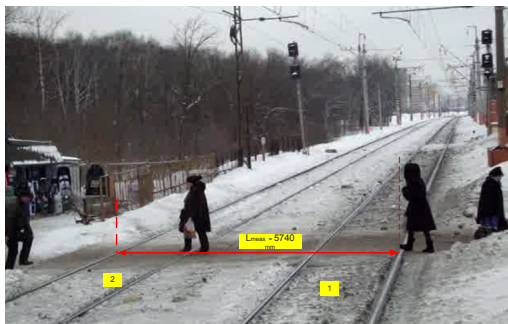
As estimated $b1(P99)$ we take a value of 361 mm. As a result the value L_{cr} for considered conditions will be:

$$L_{cr} = 2000 + 1520 + 2000 + 361 + 100 + 100 = 6081 \text{ mm.}$$

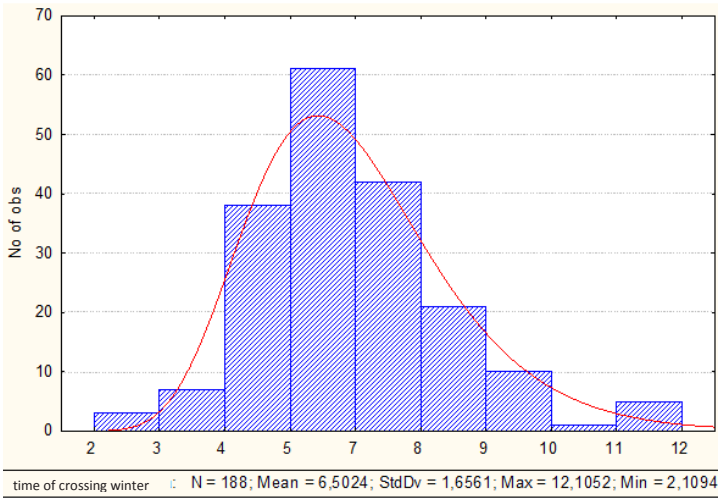
In view of the result time of each measurement on the section $L_{meas} = 5740$ mm should be adjusted by multiplying by correction coefficient $\beta = L_{cr} / L_{meas} = 1,059$.

Now let's consider results of the statistical processing of the measurement of time of crossing in a relatively favorable weather conditions in the winter daytime (clean walkway, without ice and snow) and in the absence of mutual influence of pedestrians on each other (Pic. 2). The latter circumstance is very significant, as it will be shown later.

To calculate the number of groups in a variational series we use the well-known Sturges formula:



Pic. 1. Measurement of time to cross tracks.



Pic. 2. Statistics of time of crossing in normal weather conditions without oppressing.

$K \approx 1 + 1,44 \ln n = 8,54 \approx 9$ intervals.

We shall adhere to the rules that each of interval of changes in crossing time periods includes at least three dimensions.

Minimum recorded values of 2,0–3,0 s actually already correspond to the run, which, however, also takes place. Let's take like a theoretical law a log-normal distribution law, which density function is:

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

Substituting the parameters obtained from a sample, we can write:

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

The expectation of crossing time was $m_t = 6,50$ s, the standard deviation $\sigma_t = 1,66$ s:

$$m_t = e^{\frac{\mu + \frac{\sigma^2}{2}}{2}} = e^{\frac{1,844 + \frac{0,257^2}{2}}{2}} = e^{1,87} = 6,50 \text{ s}$$

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

Let's consider the effect of weather conditions. Let us first analyze the data obtained under the conditions of snow, but without icing phenomena. As can be seen from the histogram in Pic. 3, this distribution has a pronounced right-hand

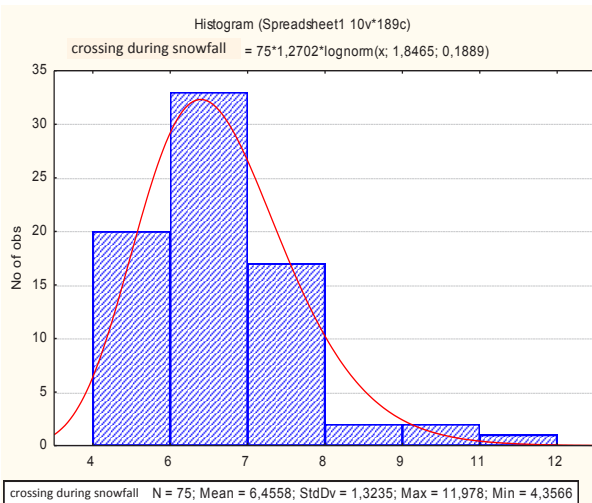
asymmetry and can also be described by a lognormal law.

Perhaps the only difference from normal conditions is the growth of the minimum values of time for crossing tracks from 2,01 to 4,36 seconds. In case of insufficient visibility (data were recorded at the crossing of the third category) a pattern of behavior changes: pedestrians make a stop in accumulation zone and, having made themselves sure that there is no train, try to cross during minimum time.

The presence of ice affects increase in the crossing time significantly stronger (Pic. 4).

Basically, this is reflected in increasing dispersion of crossing time. If for normal conditions standard deviation $\sigma_t = 1,66$ s, here it is already 1,85 s. In general, crossing of railway tracks by the walkway in the presence of icing phenomena can be regarded as extreme distribution of crossing time, and these data should determine the guaranteed time of crossing.

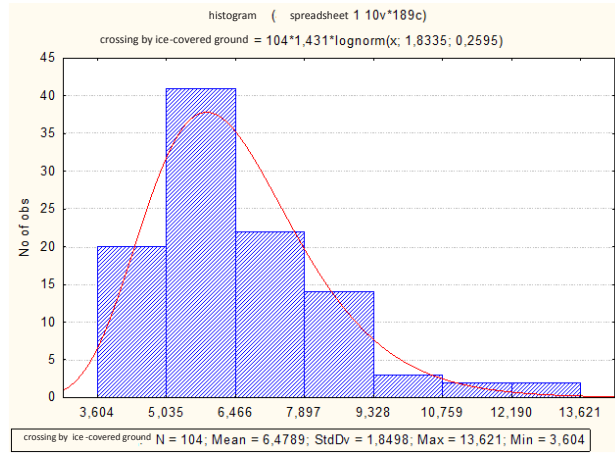
Another example of crossing at an extreme moment is the movement in oppressing conditions when the width of walkway is only enough to move in single file in each direction. In this case, the slow pace of some of pedestrians determines the rate of motion of the entire column, and there is no opportunity to overtake him without getting off the walkway. A distinctive feature of this situation will be



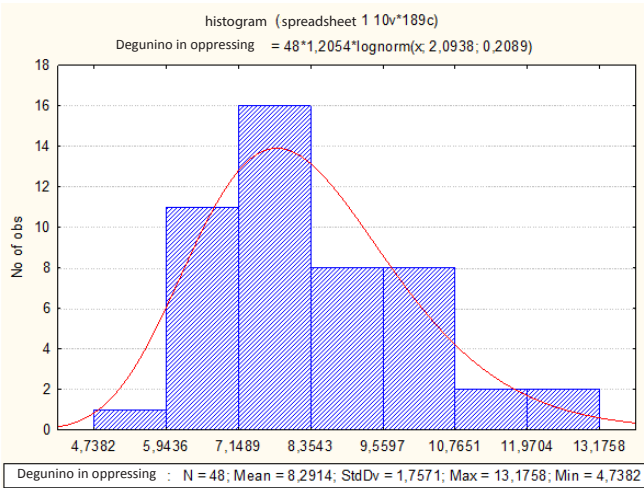
Pic. 3. Statistics of time of crossing time in a snowfall without oppressing.



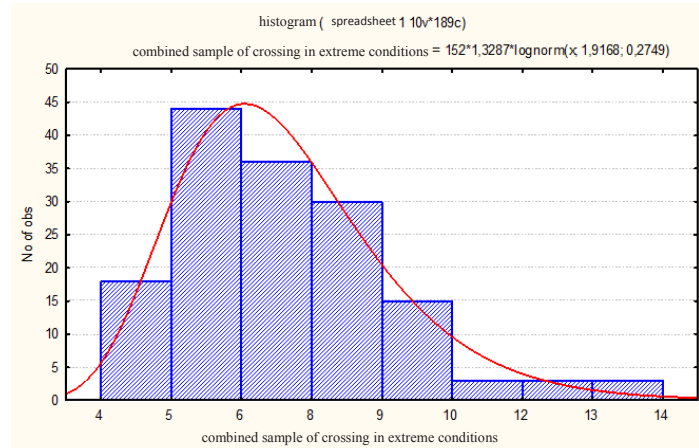
Pic. 4. Statistics of crossing time in icing conditions without oppressing.



Pic. 5. Statistics of crossing time in conditions of oppressing without icing phenomena (Degunino station).



Pic. 6. Statistics of crossing time in extreme conditions: N = 152; Mean = 7,065; StdDv=2,0395; Max=14,234; Min = 3,604.



increase in the average time spent by people on the crossing – from 6,48 to 8,29 seconds. However, maximum values are the same – about 14 seconds, as seen from Pic. 5.

Checking by the consent criteria shows that both distributions belong to the same general aggregate, type of distribution of which is shown in Pic. 6.

Let's compare data obtained with the results of expert assessments. We calculate for the same conditions probability of safety provision:

$$T_{appr} = X/v_{max} \text{ and } P_{safe} = P(T_{appr} > t_{cr,cal}). \quad (4)$$

The probability of getting a random variable distributed according to a lognormal law in the region $X > x$, is found with the well-known formula:

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

However, any person before entering the danger zone, shall assure himself of safety of the crossing. Therefore, in calculations it is

Table 1

Adjusted safety assessment

Distance to approaching rolling stock, m	200	300	400	500	600	800	1000
Speed range, km / h	Probability of safety provision						
20–40 km / h	0,97429	0,99995	0,999998	1	1	1	1
40–60 km / h	hazard	0,97429	0,99959	0,99993	0,999998	1	1
60–80 km / h	hazard	hazard	0,97429	0,99884	0,999947	0,999998	1
80–100 km/h	hazard	hazard	hazard	0,97429	0,997829	0,999984	1
100–160 km/h	hazard	hazard	hazard	hazard	hazard	0,97429	0,99884

unacceptable to take «pure crossing time», we should take into account time for detection of a dangerous object and time to make a decision. The maximum value (with a confidence level of 0,99) of extra time at the crossing will be equal to 6,0 s.

In view of the above assumptions we obtain the adjusted safety assessment, given in Table 1.

For each of these speed ranges regression equations were obtained to calculate safe approaching area for any given value of probability. In table 1 we described with category «hazard» a situation where the probability of safety is below 0,95. On the whole, demonstrated estimates correlate well with the data of expert assessments. This once again confirms the correctness of the choice of parameters of distribution of time for crossing railway tracks at a walkway.

Conclusion. The application of obtained dependences concerns mainly justification of requirements for signaling systems at pedestrian crossings of railway tracks [9, 11]. But the experimental basis for the study has methodological value, because the simplicity of decision-making always attracts practitioners.

REFERENCES

1. Analysis of the state of occupational safety, electrical safety, industrial and fire safety, non-industrial accidents in the Moscow Directorate of Infrastructure of JSC Russian Railways in 2014 [Analiz sostojanija ohrany truda, elektrobezopasnosti, promyshlennoj i pozharnoj bezopasnosti, neproizvodstvennogo travmatizma v Moskovskoj direkcii infrastruktury OAO «RZhD» za 2014 god].
2. Zhukov, V. I., Volkov, A. V., Ptushkina, L. V. Improved safety at pedestrian crossings over railway tracks [Povyshenie bezopasnosti na peshehodnyh perehodah cherez zheleznodorozhnye puti]. *Put' i putevoe hozjajstvo*, 2014, Iss. 9, pp. 32–37.
3. Shevandin, M. A., Annenkov, A. M., Vygnanova, T. M. Assessment of collision hazard and protection means at railway crossings: Guidelines for degree designing [Ocenka opasnosti naezda i sredstva zashhity pri perehode zheleznodorozhnyh putej: Metodicheskie ukazaniya k diplomnomu proektirovaniju]. Moscow, 1985, 46 p.

4. Pedestrian crossings over railway tracks. Technical requirements approved by the order of JSC Russian Railways dated 23.12.2009 № 2655r – as amended on 09.09.2010 № 1896r [Peshehodnye perehody cherez zheleznodorozhnye puti. *Tekhnicheskie trebovanija, utverzhennye rasporjazheniem OAO «RZhD» ot 23.12.2009 № 2655r – s izmenenijami, vnesennymi 09.09.2010 № 1896r*].

5. Zhukov, V. I., Volkov, A. V., Ptushkina, L. V. Improving pedestrian crossing across railway tracks [Sovershenstvovanie peshehodnyh perehodov cherez zheleznodorozhnye puti]. *Put' i putevoe hozjajstvo*, 2013, Iss. 9, pp. 22–25.

6. Health and Safety: textbook in 2 parts. Part 2: Occupational safety in rail transport [Bezopasnost' zhiznedejatel'nosti: uchebnik v 2 ch. – Ch.2: Bezopasnost' truda na zheleznodorozhnom transporte]. Ponomarev, V. M. [et al]; ed. by V. M. Ponomarev, V. I. Zhukov. Moscow, UMC ZhDT, 2014, 607 p.

7. Systems of automation and remote control on railways of the world: educational guide [Sistemy avtomatiki i telemehaniki na zheleznnyh dorogah mira: Ucheb. posobie]/ Transl. from English. Moscow, Intekst publ., 2010, 496 p.

8. Traffic safety on railways: educational guide. In 2 p. Part 1: Safety essentials [Bezopasnost' dvizhenija na zheleznnyh dorogah: Ucheb. posobie. V 2 ch. – Ch.1: Osnovy bezopasnosti]. Balalae, S. V., Kologrivaya, I. E. Khabarovsk, FESTU publ., 2013, 111 p.

9. Warning system on train movement and approximation of railway rolling stock. General requirements. GOST R 55804–2013 [Sistemy informirovanija o dvizhenii poezdov i opoveshhenija o priblizhenii zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava. Obshhie trebovanija. GOST R 55804–2013] [Electronic source]: http://standartgost.ru/g/TOCT_P_55804–2013. Last accessed 03.11.2015.

10. Safety at work. General safety on railway tracks [Tehnika bezopasnosti pri vypolnenii rabot Obshhie mery bezopasnosti na zheleznodorozhnyh putjah]. [Electronic source]: http://ohrana-bgd.narod.ru/jdtrans/jdtrans2_008.html. Last accessed 03.11.2015.

11. SP 227.1326000.2014 intersections of rail lines with the lines of transport and engineering networks [SP 227.1326000.2014 Peresechenija zheleznodorozhnyh linij s linijami transporta i inzhenernymi setjami]. [Electronic source]: <http://docs.cntd.ru/document/1200120205>. Last accessed 03.11.2015. ●

Information about the authors:

Annenkov, Anatoly M. – Ph.D. (Eng.), associate professor of the department of Safety management in technosphere of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, +7(495) 684–2169.
Volkov, Andrey V. – Ph.D. (Eng.), associate professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, anvolkov2006@yandex.ru.
Ptushkina, Lyubov V. – Ph.D. student of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, PtushkinaBGD@yandex.ru.

Article received 03.11.2015, accepted 18.01.2016.

