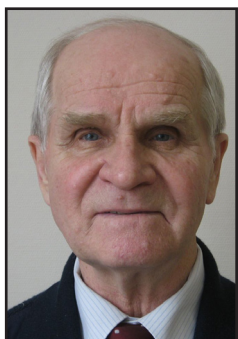


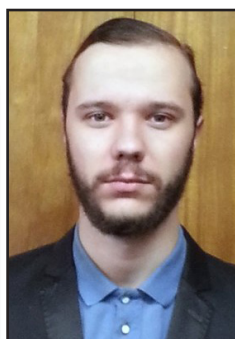


Системные факторы безопасности на пешеходных переходах



Виктор ЖУКОВ
Viktor I. ZHUKOV

Любовь ПТУШКИНА
Lyubov V. PTUSHKINA



Евгений ТИМОШЕНКО
Evgeny N. TIMOSHENKO

Жуков Виктор Иванович — кандидат технических наук, профессор Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.
Птушкина Любовь Викторовна — аспирант МИИТ, Москва, Россия.
Тимошенко Евгений Николаевич — аспирант МИИТ, Москва, Россия.

System Safety Factors at Pedestrian Crossings
(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 232)

Авторами рассмотрены основные причины травмирования граждан в результате наезда подвижного состава, роль человеческого фактора, анализируется статистика нарушений на пешеходных переходах через железнодорожные пути, показан расчет времени срабатывания автоматической сигнализации. При помощи экспертного метода проведена оценка технологических факторов по степени их влияния на опасность возникновения случаев наезда, даны заключения и рекомендации.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, пешеходный переход, человеческий фактор, безопасность, система предупреждения.

Зачастую причинами травматизма граждан при пересечении железнодорожных путей по пешеходным переходам являются пренебрежение собственной безопасностью и элементарное нарушение правил нахождения в зонах повышенного риска.

Приведем статистику за 2013–2014 годы по одной только дороге. Несмотря на снижение общего уровня травматизма, на Московской железной дороге (МЖД) в 2014 году наблюдалась тенденция к росту случаев травмирования граждан на пешеходных переходах.

Такие случаи зарегистрированы:

- на путях перегонов 57% от их общего количества;
- на путях станций – 27%;
- в пределах пассажирских платформ – 16%.

Всего на переходах пострадали 159 человек, из них 123 – со смертельным исходом (в 2013 году – 156 человек, из них 108 смертельно). Произошло 9 случаев группового травмирования, пострадали 19 человек, из

них 13 погибли (в 2013 году 5 случаев, 10 человек, из них 4 с летальным исходом). Травмированы 16 несовершеннолетних, из них 11 умерли (в 2013 году 16 человек, 9 смертей).

Пешеходные переходы оборудуются в соответствии с техническими требованиями, утвержденными распоряжением ОАО «РЖД» от 23.12.2009 № 2655р [1] и как технический комплекс являются неотъемлемой частью инженерного оснащения инфраструктуры железнодорожного транспорта. Инженерные сооружения включают в себя настилы и лестницы, ограждения, осветительные установки и другие элементы для обеспечения удобных и безопасных условий пересечения пешеходами железнодорожных путей. К ним добавляются информационные системы в зависимости от категории пешеходных переходов, они включают предупредительные знаки (плакаты, указатели) и устройства автоматической сигнализации.

Автоматическая сигнализация запрещает движение пешехода по переходу при вступлении поезда на участок приближения. И она же дает разрешающее указание сразу после освобождения поездом пешеходного перехода.

Основным критерием, определяющим безопасный переход пешеходами через железнодорожные пути в обустроенном для этого месте является время включения сигнализации о приближении поезда $t_{изв}$ (с). Оно представлено как сумма трех независимых величин:

$$t_{изв} = t_1 + t_2 + t_3,$$

где t_1 — время, затрачиваемое пешеходами (в расчет берется группа из трех человек с интервалом 1 м: $L_{гр} = 1 \times 3 = 3$ м) на движение в пределах опасной зоны (длина перехода — $L_{п}$), ограниченной пределами накопительных зон в соответствии с проектом на обустройство пешеходного перехода;

t_2 — время срабатывания приборов цепей извещения и управления, принимаемое равным 2 с;

t_3 — гарантийное время, принимаемое равным 10 с.

Время нахождения пешехода в опасной зоне t_1 вычисляется по формуле:

$$t_1 = (L_{п} + L_{гр}) / V_{пеш},$$

где $L_{п}$ — длина пешеходного перехода, определяемая как сумма расстояний между на-

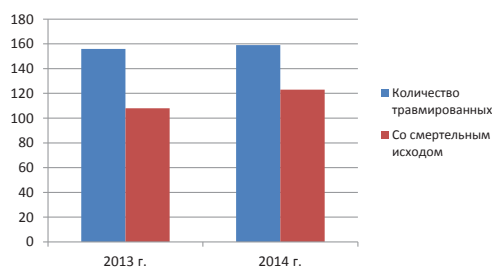


Рис. 1. Соотношение общего количества травмированных и случаев со смертельным исходом на МЖД в 2013–2014 годы.

иболее удаленными крайними рельсами плюс 5 м при скоростях движения не более 140 км/ч или 10 м при скоростях движения более 140 км/ч;

$L_{гр}$ — условная длина группы пешеходов, 3 м.

$V_{пеш}$ — расчётная скорость движения пешеходов, принимаемая 0,83 м/с (3 км/час).

Расчётная длина участка приближения для пешеходных переходов $L_{пр}$, м (в правильном направлении движения) и $L_{непр}$, м (в неправильном направлении) определяется по формулам:

$$L_{пр} = V_{пр} \times t_{изв} / 3,6;$$

$$L_{непр} = V_{непр} \times t_{изв} / 3,6,$$

где 3,6 — коэффициент перевода скорости из км/ч в м/с;

$V_{пр}$ и $V_{непр}$ — скорость движения поезда (км/ч), соответственно в правильном и неправильном направлении движения.

Численность максимальной группы, которая начинает движение по переходу в момент включения запрещающего сигнала — 6 человек. Средняя скорость ее движения на подходе к пешеходному переходу — 1 м/с, максимальное время принятия решения — 6 с, а среднее расстояние от одного пешехода до следующего — 1 м. В итоге время t_1 рассчитывают для одного пути по формуле:

$$t_1 = (6,0 + 3,1 + 1,52 + 2,5) / 0,51 = 27,73 \text{ с},$$

Тогда величина $t_{изв}$ составит $27,73 + 4 + 10 = 39,73$ с, округляемых до 40 с.

Для двухпутного участка надо учесть необходимость дополнительного перехода как через междупутье, так и через вторую колею пути. На прямых участках перегонов расстояние между осями путей должно быть не менее 4100 мм, а на станционных путях — не менее 5300 мм. Тогда время t_1 должно составлять:



для перегонов — $t_j = (6,0 + 3,1 + 1,52 + 4,1 + 2,5)/0,51 = 33,8$ с;

для станций — $t_j = (6,0 + 3,1 + 1,52 + 5,3 + 2,5)/0,51 = 36,1$ с.

Соответственно величина t изменяется от 45,8 до 48,1 с.

Таким образом, для однопутного участка мы выходим на время включения сигнализации о приближении поезда, равное минимум 45 с, при пересечении двух путей — на время, равное от 55 с, для перегонов и 60 с (1 минута) — для станций.

Расчет для большего числа путей выполняется аналогично.

В случае вероятностного подхода для расчета времени перехода через пути необходимо установить закон распределения скорости V перехода людей через пути.

Находим плотность распределения случайной величины V :

$$V = \varphi(t) = \frac{S}{t}. \quad (1)$$

Функцию φ предполагаем непрерывной и дифференцируемой. Обозначим как $g(V)$ плотность распределения величины V . Чтобы определить $g(V)$, найдем сначала функцию распределения величины V . Имеем $t = \Psi(V)$, где функция $\Psi(V)$ — обратная функции φ .

Тогда

$$G(V) = \int_a^{\Psi(V)} f(t) dt.$$

Дифференцируя интеграл по переменной V , входящей в верхний предел, получим $g(V) = G'(V) = f(\Psi(V)) |\Psi'(V)|$.

Известно, что $V = \frac{S}{t}$, а величина t рас-
пределена по логарифмически нормальному закону с плотностью распределения —

$$\tau(t) = \frac{1}{t \sigma_{\ln t} \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(\ln t - m_{\ln t})^2}{2\sigma_{\ln t}^2} \right]. \quad (2)$$

Выполнив вычисления, имеем:

$$V = \phi(t) = \frac{S}{t},$$

$$t = \phi(t) = \frac{S}{V},$$

$$g(V) = f(\Psi(V)) |\Psi'(V)|.$$

Преобразуя выражение для $g(V)$, получаем:

$$g(t) = \frac{1}{\left(\frac{S}{V}\right) \sigma_{\ln t} \sqrt{2\pi}} \cdot \exp \left[\frac{-(\ln \left(\frac{S}{V}\right) - m_{\ln t})^2}{2\sigma_{\ln t}^2} \right] \frac{S}{V^2}. \quad (3)$$

Это есть не что иное, как логарифмический нормальный закон с параметрами:

$$a_{\ln V} = \ln S - m_{\ln t},$$

$$\sigma_{\ln V} = \sigma_{\ln t}.$$

При оценке безопасности перехода следует учитывать наличие таких факторов, как расстояние до приближающегося поезда, тип и скорость подвижного состава [2].

Повторение из года в год случаев травмирования пешеходов на железнодорожных переходах свидетельствует о том, что действующая система обеспечения безопасности недостаточно эффективна. Причем это касается и переходов, оборудованных в полном соответствии со всеми официальными требованиями. Решающим здесь остается негативное воздействие человеческого фактора.

Согласно энциклопедическому определению под человеческим фактором понимают многозначный термин, описывающий возможность принятия человеком ошибочных, алогичных решений в тех или иных ситуациях. Максимальная степень учета неопределенности поведения человека, снижения возможных рисков, уменьшения ожидаемых от этого последствий — одна из обязательных задач при разработке новой техники.

В статье ставится задача-аналог: выявить степень соответствия параметров технического оснащения пешеходных переходов через железнодорожные пути поведенческому стереотипу граждан в зоне предполагаемой для них опасности.

Основными являются травмоопасные факторы, обусловленные наличием пешеходов во время движения железнодорожного состава в зоне перехода через пути, например:

- ошибочное действие человека (человеческий фактор);
- несоответствие пешеходного перехода техническим требованиям.

Так как решение о переходе через железнодорожные пути принимает непосред-

Образец экспертной анкеты

№ п/п	Наименование факторов
1	Неудобное расположение пешеходного перехода
2	Неверная оценка опасности при пересечении путей по пешеходному переходу
3	Плохая видимость информационных сигналов и знаков в ухудшенных погодных условиях
4	Недостаточное освещение пешеходного перехода
5	Мешающее и дезориентирующее действие шума
6	Пренебрежение правилами безопасности при переходе через железнодорожные пути
7	Недостаточный обзор пешеходного перехода и прилегающих участков пути
8	Расположение информационных знаков в плохой зоне видимости

ственно человек, то его безопасность в значительной степени зависит от принимаемых им шагов. Каждая ошибка в поведении человека – это всегда результат его действия или бездействия, проявления свойств психики, определённых ее аспектов. Ошибка может быть следствием психических качеств (природных или приобретённых), сбоев в процессе психической деятельности (человек что-то не заметил, неправильно истолковал, неверно представил и др.). Поскольку все эти психические проявления тесно связаны между собой и взаимообусловлены, то усмотреть в них первопричину ошибки оказывается не просто.

Следовательно, важно, чтобы человек правильно оценивал свои физические возможности при определении времени, которое понадобится ему для безопасного пересечения железнодорожных путей, а также, в экстренной ситуации мог предпринять всё необходимое, чтобы вовремя покинуть опасную зону.

Несоответствие пешеходных переходов техническим требованиям может происходить в силу разных причин. Возможны, например, вандальные действия, преждевременная амортизация технических средств, халатность при проектировании или постройке пешеходного перехода.

Для разработки наиболее эффективных мероприятий по обеспечению безопасности пешеходов следует уточнить значение отдельных факторов, однако среди них существуют такие, которые не поддаются количественному измерению или измеряются косвенным путем. В таких случаях часто применяют экспертный метод.

Для экспертного анализа необходимо прежде всего определить его цель. Далее

требуется четко сформулировать вопросы, на которые будут отвечать эксперты. Вопросы помещают в анкету, остальное – за ответами специалистов. И тут важно, чтобы они обладали достаточной компетентностью при оценке поставленных вопросов [3].

При выборе экспертов наиболее подходящими на эту роль будут граждане, живущие в непосредственной близости с железнодорожным пешеходным переходом, пользующиеся им не менее двух раз в сутки. Для оценки компетентности чаще всего просто учитывают сведения об опыте и квалификации эксперта.

Одним из наиболее распространенных в экспертном методе является способ ранговых оценок. При заполнении анкеты эксперт присваивает факторам ранги от 1 до n (n – количество исследуемых факторов) по мере убывания их влияния. В качестве примера в таблице 1 приведена анкета, позволяющая оценить степень влияния факторов на опасность возникновения случаев наезда на пешеходов, пользующихся переходом через железнодорожные пути.

В случае если эксперт присвоил разным факторам одинаковые ранги и их нормализуют, должно быть справедливо выражение:

$$\sum_{j=1}^n R_{ij} = \frac{n(n+1)}{2}, \quad (4)$$

где n – число факторов;

j – номер фактора;

R_{ij} – ранг фактора по оценке i -го эксперта.

В результате анкетирования экспертов получена матрица рангов, которая представлена в таблице 2.

Итоговую оценку влияния j -го фактора устанавливают на основе подсчета суммы



Матрица рангов

№ фактора	Эксперты								$\sum_{j=1}^n R_{ij}$
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1	4	8	4	4	3	7	8	5	43
2	8	2	5	3	6	5	2	4	35
3	2	3	2	7	5	6	7	7	39
4	3	4	3	5	7	4	6	8	40
5	6	7	6	8	8	3	4	3	45
6	1	2	3	3	4	1	1	2	17
7	7	1	1	1	1	2	5	1	19
8	5	6	7	2	2	8	3	6	39

рангов $\sum_{j=1}^n R_{ij}$ по столбцам. Самым влиятельным признается тот, у которого сумма рангов наименьшая.

На основе матрицы строится диаграмма суммы рангов, она представлена на рис. 2.

Полученные данные можно использовать только в том случае, если они соответствуют достаточной согласованности мнений экспертов. Согласованность мнений определяют с помощью коэффициента конкордации W , который рассчитывается по формуле:

$$W = \frac{\sum_{j=1}^n d_j^2}{m^2(n^3 - n) - m \sum_{i=1}^m T_i^2}, \quad (5)$$

при этом

$$d_j = \sum_{i=1}^m R_{ij} - 0,5m(n+1);$$

$$T_i = \sum_{k=1}^v (t_{ik}^3 - t_{ik}),$$

где u – число групп факторов, которые имеют совпавшие ранги в экспертной анкете i -го эксперта;

k – номер группы с совпавшими рангами, $k = 1, 2, \dots$;

t_{ik} – число факторов с совпавшими рангами в группе с номером k в экспертном листе i -го эксперта.

Коэффициент конкордации может принимать значения от 0 до 1. При значении $W = 0$ согласованность их мнений отсутствует, значение $W = 1$ свидетельствует о полной согласованности. В примере, рассмотренном в таблицах 1, 2, значение $W = 0,045$.

Для оценки значимости вычисленных значений W используют критерий согласия

χ^2 . Из математической статистики известно, что величина $m(n-1)W$ соответствует χ^2 -распределению с $(n-1)$ степенью свободы. Распределение случайных величин χ^2 характеризует случайные отклонения сумм квадратов нормально распределенной величины с нулевым математическим ожиданием. Если задать некоторый уровень значимости q , то с вероятностью $(1-q)$ текущие значения $\chi^2 \leq \chi_q^2$ соответствуют случайным отклонениям. Если окажется, что значения $\chi^2 > \chi_q^2$, то с вероятностью $(1-q)$ можно утверждать, что обнаруженные отклонения от нуля не случайны и не описываются распределением χ^2 .

Задавшись уровнем значимости, например $q = 0,05$, по таблицам χ^2 -распределения определяют χ_q^2 , соответствующие $(n-1)$ степени свободы. Значение коэффициента конкордации существенно отличается от нуля, если $m(n-1)W > \chi_q^2$. В таком случае следует признать, что согласованность экспертов достаточна и с вероятностью $(1-q)$ не может определяться случайными совпадениями оценок. В рассмотренном примере имеем $\chi^2 = 25,4$, и следовательно, значимость вычисленных значений коэффициента конкордации подтверждается.

Методом экспертного анализа были выявлено три наиболее значимых фактора, влияющих на принятие пешеходом неверного решения, которое может привести к опасным последствиям:

- неверная оценка опасности на пешеходном переходе;
- пренебрежение правилами безопасности при переходе через железнодорожные пути;
- недостаточный обзор пешеходного перехода и прилегающих участков пути.

ВЫВОДЫ

Из полученных данных следует, что переход через железнодорожные пути, являясь осознанным, целенаправленным актом, приобретает для пешехода определённую опасную значимость. Чем более значимым — тревожным и сложным будет для него данное действие в его общей деятельности, тем большее энергетическое и информационное подкрепление оно будет иметь. Получается, что в процессе деятельности существует своя системность: более значимые и неопределённые действия получают большее энергетическое подкрепление, а менее значимые, менее неопределённые — соответственно меньшее. Когда же человек неверно оценивает значимость и сложность действий, принимаемых им решений, такая система нарушается, и это чревато ошибками.

Готовность граждан начать движение по переходу при наличии красного огня светофора и в отсутствие пока поезда (или иного подвижного состава) в зоне видимости с пешеходного перехода приходит в логическое противоречие с правилами безопасного перехода. В данном случае попытки разъяснительной работы и даже введение системы штрафов окажутся малоэффективными.

Добиться перелома ситуации в пользу неукоснительного соблюдения правил безопасности можно только за счет роста доверия к работе автоматики. Если включился красный свет — то угроза причинения вреда гражданам реальна. В этой связи применяющиеся сейчас системы сигнализации на переходах через железнодорожные пути в одном уровне требуют модернизации, нужна более высокая *точность оповещения о приближении подвижного состава с учетом времени перехода по пешеходному настилу*.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пешеходные переходы через железнодорожные пути. Технические требования, утвержденные распоряжением ОАО «РЖД» от 23.12.2009 № 2655р — с изменениями, внесенными распоряжением от 09.09.2010 № 1896р.
2. Жуков В. И., Волков А. В., Птушкина Л. В. Совершенствование пешеходных переходов через же-

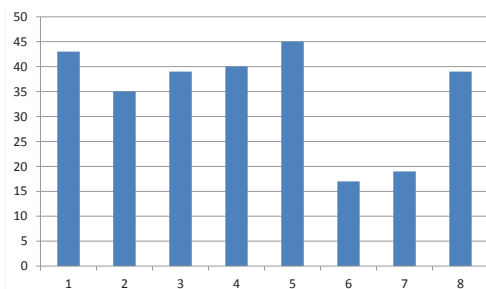


Рис. 2. Диаграмма суммы рангов.

лезнодорожные пути // Путь и путевое хозяйство. — 2013. — № 9. — С. 22–25.

3. Безопасность труда на железнодорожном транспорте: Учеб. пособие / Под ред. В. М. Пономарева. — М.: МИИТ, 2011. — 670 с.

4. Анализ состояния охраны труда, электробезопасности, промышленной и пожарной безопасности, производственного травматизма в Московской дирекции инфраструктуры за 2014 год.

5. 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.

6. Безопасность жизнедеятельности: Учебник в 2 ч. — Ч. 2: Безопасность труда на железнодорожном транспорте / В. М. Пономарев и др.; под ред.: В. М. Пономарева, В. И. Жукова. — М.: УМЦ ЖДТ, 2014. — 607 с.

7. 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.

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

9. Охрана труда и безопасность жизнедеятельности. Режим доступа: <http://ohrana-bgd.narod.ru/>. Доступ 22.10.2015.

10. ГОСТ Р 55804-2013. Системы информирования о движении поездов и оповещения о приближении железнодорожного подвижного состава. Общие требования. Режим доступа: http://standartgost.ru/g/ГОСТ_Р_55804-2013. Доступ 22.10.2015.

11. Техника безопасности при выполнении работ. Общие меры безопасности на железнодорожных путях. Режим доступа: http://ohrana-bgd.narod.ru/jdtrans/jdtrans2_008.html. Доступ 22.10.2015.

12. СП 227.1326000.2014. Пересечения железнодорожных линий с линиями транспорта и инженерными сетями. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200120205>. Доступ 22.10.2015.

13. ЦППК за безопасность на железной дороге. Режим доступа: <http://poezd.drezna.ru/info/2012/cppk-za-bezopasnost/>. Доступ 22.10.2015.

14. Safety, reliability, capacity and cost. Режим доступа: <http://www.railmagazine.com/operations/safety/safety-reliability-capacity-and-cost>. Доступ 22.10.2015.

15. Health...as well as safety. Режим доступа: <http://www.railmagazine.com/people/interviews/health-as-well-as-safety>. Доступ 22.10.2015.

Координаты авторов: Жуков В. И. — (495) 684–21–69, Птушкина Л. В. — PtushkinaBGD@yandex.ru, Тимошенко Е. Н. — Timoshenko2014@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 22.10.2015, принята к публикации 11.12.2015.



SYSTEM SAFETY FACTORS AT PEDESTRIAN CROSSINGS

Zhukov, Viktor I., Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

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

Timoshenko, Evgeny N., Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

ABSTRACT

The authors have considered the main causes of citizens' hitting by rolling stock followed by injuries, the role of human factor, analyzed statistics on violations at pedestrian crossings over railway tracks, showed calcu-

lation of response time of automatic signaling. With the help of an expert survey method technological factors are evaluated, which are ranked according to the degree of their influence on the risk of collision cases, conclusions and recommendations are given.

Keywords: railway transport, pedestrian crossing, human factor, safety, warning system.

Background. Often the causes of injuries to citizens when crossing railway tracks at pedestrian crossings is neglect of their own safety and violation of rules of presence in high-risk areas.

Let's provide the overall statistics for the years 2013–2014 for only one railway. Despite the decline in the overall level of injury at Moscow Railway (MR) in 2014 there was a trend to an increase in cases of injury to people at pedestrian crossings.

Such cases were recorded:

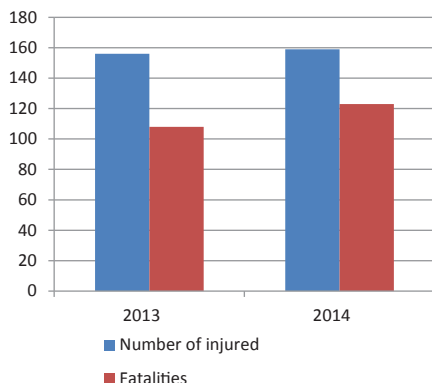
- Of total number of the cases 57% occurred on tracks of hauls;
- On station tracks – 27%;
- Within passenger platforms – 16%.

A total of 159 people were injured at crossings, of which 123 – fatal (in 2013–156 persons, 108 of them fatal). There were 9 cases of group injury, 19 people were injured, 13 of whom died (in 2013, 5 cases, 10 people, 4 of them with fatal outcome). 16 minors were injured, 11 of whom died (in 2013, 16 people, 9 deaths).

Pedestrian crossings are equipped in accordance with the specifications approved by the order of JSC Russian Railways dated 23. 12.2009 № 2655r [1] and as a technical complex are an integral part of engineering equipment of railway transport infrastructure. Engineering structures include decking and stairs, fences, lighting systems and other elements to ensure comfortable and safe conditions for pedestrians crossing of railway tracks. These information systems are added depending on the category of pedestrian crossings, they include warning signs (posters, signs) and automatic signaling devices.

Automatic signaling prevents pedestrian movement at crossing when a train enters approximation section. And it also gives a permitting indication immediately after the pedestrian crossing is free of train.

Objective. The objective of the authors is to study system safety factors with respect to pedestrian railway crossings.



Pic. 1. The ratio of the total number of injured and fatalities on MR in 2013–2014.

Methods. The authors use general scientific methods, simulation, statistics, comparative analysis, evaluation approach.

Results. The main criterion for determining the safe passage of pedestrians across railway tracks in-furnished for this site is time of turning on signaling of approach of trains t_{warn} (s). It is represented as the sum of three independent variables:

$$t_{warn} = t_1 + t_2 + t_3,$$

where t_1 is time spent by pedestrians (a group of three people with an interval of 1 m is taken into account: $L_{gr} = 1 \times 3 = 3$ m) on movement in the danger zone (length of crossing – L_{cr}), limited to accumulation areas in accordance with the project for resettlement of pedestrian crossing;

t_2 is response time of devices of circuits of notification and control, taken equal to 2 s;

t_3 is warranty time, taken equal to 10 s.

The time pedestrians stay in the dangerous area

t_1 is calculated as:

$$t_1 = (L_{cr} + L_{gr}) / V_{ped}$$

where L_{cr} is length of pedestrian crossing, defined as a sum of distances between the outermost extreme rails plus 5 m at speeds not exceeding 140 km/h or 10 m at speeds over 140 km/h;

L_{gr} notional length of a group of pedestrians, 3 m.

V_{ped} is calculated speed of pedestrians, taken as 0,83 m/s (3 km/h).

The calculated length of approximation section for pedestrian crossings L_{cr} , m (in the right direction of motion) and L_{wr} , m (in the wrong direction) is determined by the formulas:

$$L_{cr} = V_{rig} \times t_{warn} / 3,6;$$

$$L_{wr} = V_{wr} \times t_{warn} / 3,6;$$

where 3,6 is coefficient of transfer of speed from km/h into m/s;

V_{rig} and V_{wr} is train speed (km/h), respectively in right and wrong directions of motion.

The number of maximum group, which starts moving at the crossing at time of turning on prohibiting signal – 6 people. Its average speed when approaching a pedestrian crossing is 1 m/s, the maximum time for decision-making is 6 s, and the average distance from one pedestrian to another is 1 m. As a results time t_1 is calculated for one track using the formula:

$$t_1 = (6,0 + 3,1 + 1,52 + 2,5) / 0,51 = 27,73 \text{ s},$$

Then the value t_{warn} is $27,73 + 4 + 10 = 39,73 \text{ s}$, rounded to 40 s.

For double-track section it is necessary to take into account the need for additional crossing across intertrack spaces, and across the second gauge of the track. On straight sections of hauls the distance between axes of tracks should not be less than 4100 mm, and on station tracks – not less than 5300 mm. Then, the time t_1 shall be:

$$\text{for hauls } t_1 = (6,0 + 3,1 + 1,52 + 4,1 + 2,5) / 0,51 = 33,8 \text{ s};$$

for stations – $t_i = (6,0 + 3,1 + 1,52 + 5,3 + 2,5)/0,51 = 36,1$ s.

Respectively, the value t ranges from 45,8 to 48,1 s.

Thus, for single-track section we enter the time of switching on signaling on train approaching, equal to at least 45 s, at the intersection of two tracks – for a time equal from 55 s, for hauls and 60 s (1 minute) – for stations.

The calculation for a greater number of tracks is similar.

In case of a probabilistic approach for calculation of passage time across tracks it is necessary to set the distribution law of speed V of people passage across tracks.

We find the density of random variable distribution V :

$$V = \varphi(t) = \frac{S}{t}. \quad (1)$$

Function j is assumed to be continuous and differentiable. Let denote as $g(V)$ distribution density of the value V . In order to determine $g(V)$, we first find distribution function of the value V . We have $t = Y(V)$, where the function $Y(V)$ is reverse to function j .

Then

$$G(V) = \int_a^{\psi(V)} f(t) dt.$$

Differentiating the integral over the variable V , included in the upper limit, we obtain

$$g(V) = G'(V) = f(\psi(V)) \psi'(V).$$

It is known that $V = \frac{S}{t}$ and value t is distributed according to a logarithmically normal law with distribution density

$$\tau(t) = \frac{1}{t \sigma_{\ln t} \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(\ln t - m_{\ln t})^2}{2\sigma_{\ln t}^2} \right]. \quad (2)$$

After calculations we have:

$$V = \phi(t) = \frac{S}{t},$$

$$t = \phi(V) = \frac{S}{V},$$

$$g(V) = f(\psi(V)) \psi'(V).$$

Converting expression for $g(V)$, we obtain:

$$g(t) = \frac{1}{\left(\frac{S}{V}\right) \sigma_{\ln t} \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(\ln \left(\frac{S}{V}\right) - m_{\ln t})^2}{2\sigma_{\ln t}^2} \right] \frac{S}{V^2}. \quad (3)$$

This is nothing else but the logarithmic normal law with parameters:

$$a_{\ln V} = \ln S - m_{\ln t}$$

$$\sigma_{\ln V} = \sigma_{\ln t}.$$

When assessing safety of crossing it is necessary to take into account the presence of factors such as distance to the approaching train, type and speed of rolling stock [2].

Repeating every year cases of injury to pedestrians at railway crossings shows that the current safety system is not effective enough. And this also applies to crossings, equipped in full compliance with all the formal requirements. Decisive here is the negative impact of the human factor.

According to the encyclopedic definition a human factor is multiple term, describing taken by a human erroneous, illogical decisions in certain situations. The maximum degree of accounting of uncertainty in human behavior, reduction in possible risks, reduction of expected consequences of this

is one of the essential tasks in development of new technology.

The article sets a similar task: to identify the extent to which the parameters of technical equipment of pedestrian crossings over railway tracks correspond to behavior patterns of citizens in the area of the supposed danger to them.

The main factors are traumatic, due to the presence of pedestrians while driving the train in the zone of crossing over tracks, for example:

- human erroneous actions (human factor);
- in compliance of pedestrian crossing with specifications.

Since the decision to cross the tracks is taken by a person, his safety to a large extent depends on the steps taken by him. Every mistake in human behavior is always the result of his action or omission, the manifestations of the psyche of properties, certain of its aspects. The error may be caused of mental qualities (natural or acquired), failures in the process of mental activity (a person did not notice, misinterpreted, misrepresented, etc.). Since all of these psychic manifestations are closely linked and interdependent, then see in them the root cause of the error is not easy.

Therefore, it is important that a person correctly assesses his physical abilities in determining the time that he will need for safe crossing of tracks, as well as in emergency situations could take all the necessary time to leave the danger zone.

Inconsistency of pedestrian crossing with specifications may occur due to various reasons. There are, for example, vandal actions, premature depreciation of technical means, negligence in the design or construction of a pedestrian crossing.

To develop the most efficient measures to provide pedestrian safety it is necessary to clarify the importance of individual factors, but among them there are some that are not quantifiable or measured indirectly. In such cases, expert method is often used.

For expert analysis it is necessary firstly to determine its purpose. Then it is required to formulate clearly questions that the experts will address. Questions are put in the questionnaire, and the rest – for answers of professionals. And here it is important that they have sufficient competence in the assessment of the issues raised [3].

When choosing experts the most appropriate for this role will be citizens who live in close proximity to the railway crossing and use it at least twice a day. To assess the competence are usually just taken into account the details of the experience and qualifications of the expert.

One of the most common in the expert method is a method of estimations ranked. When filling out the questionnaire expert assigns grades from 1 to n (n is number of factors studied) to factors in descending order of their influence. As an example, Table 1 shows a questionnaire that can help to rank the factors according to the degree of their influence on the risk of pedestrian collisions, using crossing over railway tracks.

If the expert assigned to various factors the same rank and they are normalized, the expression should be fair:

$$\sum_{j=1}^n R_{ij} = \frac{n(n+1)}{2}, \quad (4)$$

where n is a number of factors;

j is № of factor;

R_{ij} is a rank of factor according to the estimate of the i -th expert.



Table 1

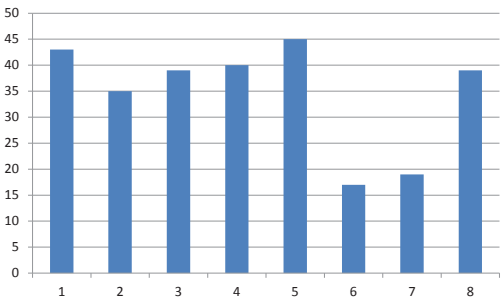
Model of a questionnaire to be filled-in by an expert

№	Name of factors
1	Inconvenient location of pedestrian crossing
2	Incorrect assessment of danger when crossing tracks at a pedestrian crossing
3	Poor visibility of information signals and signs in worsened weather conditions
4	Lack of lighting at pedestrian crossing
5	Interfering and disorienting action of noise
6	Neglect of safety rules when crossing railway tracks
7	Inadequate angle of vision of the pedestrian crossing and adjacent track sections
8	Location of information signs in poor visibility area

Table 2

Rank matrix

№ of factor	Experts								$\sum_{j=1}^n R_{ij}$
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1	4	8	4	4	3	7	8	5	43
2	8	2	5	3	6	5	2	4	35
3	2	3	2	7	5	6	7	7	39
4	3	4	3	5	7	4	6	8	40
5	6	7	6	8	8	3	4	3	45
6	1	2	3	3	4	1	1	2	17
7	7	1	1	1	1	2	5	1	19
8	5	6	7	2	2	8	3	6	39



Pic. 2. Diagram of rank sum.

As a result of the survey of experts was received the rank matrix which is presented in Table 2.

The final assessment of the effect of the j -th factor is determined based on a calculation of the sum of ranks $\sum_{j=1}^n R_{ij}$ in columns. The most influential is recognized that, in which the rank sum is the lowest.

On the basis of the matrix is constructed diagram of rank sum, it is presented in Pic. 2.

The data obtained can be used only if they comply with sufficient consistency of expert opinion. Consistency of opinion is determined by the coefficient of concordance W , which is calculated by the formula:

$$W = \frac{\sum_{j=1}^n d_j^2}{m^2(n^3 - n) - m \sum_{i=1}^m T_i^2}, \quad (5)$$

wherein

$$d_j = \sum_{i=1}^m R_{ij} - 0,5m(n+1);$$

$$T_i = \sum_{k=1}^v (t_{ik}^3 - t_{ik}),$$

where u is a number of group of factors that have coincided in the ranks in the expert questionnaire of the i -th expert;

k is № of group with coincident ranks, $k = 1, 2, \dots$;

t_{ik} is a number of factors with coincident ranks in the group with number k in the expert list of the i -th expert.

Concordance coefficient can range from 0 to 1. If the value $W = 0$ the consistency of their opinions is not available, the value of $W = 1$ indicates complete consistency. In the example considered in Tables 1 and 2, the value of $W = 0,045$.

To assess the significance of the calculated values W is used consent criterion χ^2 . From mathematical statistics it is known that the value $m(n-1)W$ corresponds χ^2 -distribution with $(n-1)$ degree of freedom. Distribution of random variables χ^2 characterizes random deviations of sums of squares of normally distributed variables with zero expectation. If we set a certain level of significance q , then with probability $(1-q)$ the current values of $\chi^2 \leq \chi_{q,n}^2$ correspond to random deviations. If it turns out that the values of $\chi^2 > \chi_{q,n}^2$, with probability $(1-q)$ can be argued that the observed deviation from zero are not random and are not described by the distribution of χ^2 .

At a given level of significance, for example $q = 0,05$, according to tables of χ^2 -distribution is determined $\chi_{q,n}^2$, appropriate to $(n-1)$ degree of freedom. The value of the coefficient of concordance is sig-

nificantly different from zero if $m(n-1)W > x^2$. In this case, it should be recognized that consistency of experts is sufficient and with probability $(1-q)$ cannot be determined by random coincidences in estimates. In this example, we have $x^2 = 25,4$, and hence the importance of concordance coefficient calculated values is confirmed.

The method of expert analysis identified three most important factors, influencing the making by a pedestrian of a wrong decision that can lead to dangerous consequences:

- Incorrect assessment of the danger at a pedestrian crossing;
- Neglect of safety rules when crossing the railway tracks;
- Insufficient angle of vision of the pedestrian crossing and adjacent track sections.

Conclusions. From the collected data it follows that the crossing of the railway, being a conscious, deliberate act, acquires a certain dangerous importance for pedestrians. The more important, disturbing and challenging is the action for him in his general activity, the more energy and information reinforcement it will have. It turns out that in the course of activity there is its own consistency: more significant and indefinite actions receive more energy reinforcements, and less important, less uncertain receive relatively smaller power support. When a person wrongly evaluates significance and complexity of the actions, of the decision made, the system is broken, and it is fraught with errors.

The willingness of citizens to start moving on the crossing in the presence of red light of traffic light and in the absence of train (or other rolling stock) in the area of visibility from a pedestrian crossing comes in logical contradiction with the rules of safe passage. In this case, conduct of outreach, and even the introduction of a system of fines will be ineffective.

Turning the situation in favor of the strict observance of safety rules can only be achieved through growing confidence in the work of automation. If the red light turns on then the threat to harm citizens is real. In this connection, signalling systems at level crossings require modernization, we need more precise warning of rolling stock approach with account for time of crossing over the walkway.

REFERENCES

1. Pedestrian crossings over railway tracks. Technical requirements approved by the order of JSC Russian Railways dated 23.12.2009 № 2655r – as amended by the order dated 09.09.2010 № 1896r. [*Peshehodnye perehody cherez zheleznodorozhnye puti. Tekhnicheskie trebovaniya, utverzhdennye rasporyazheniem OAO «RZhD» ot 23.12.2009 № 2655r – s izmeneniyami, vnesennymi rasporyazheniem ot 09.09.2010 № 1896r*].
2. Zhukov, V. I., Volkov, A. V., Ptushkina, L. V. Improving pedestrian crossings over railway tracks [*Sovershenstvovanie peshehodnykh perehodov cherez zheleznodorozhnye puti*]. *Put' i putevoe hozjajstvo*, 2013, Iss. 9, pp. 22–25.

3. Work safety in railway transport: educational guide [*Bezopasnost' truda na zheleznodorozhnom transporte: Ucheb. posobie*]. Ed. by V. M. Ponomarev. Moscow, MIIT publ., 2011, 670 p.

4. Analysis of state of occupational safety, electrical safety, industrial and fire safety, non-industrial accidents in the Moscow Directorate of infrastructure in 2014 [*Analiz sostojaniya ohrany truda, elektrobezopasnosti, promyshlennoj i pozharnoj bezopasnosti, neproizvodstvennogo travmatizma v Moskovskoj direkcii infrastruktury za 2014 god*].

5. Zhukov, V. I., Volkov, A. V., Ptushkina, L. V. Improved safety at pedestrian crossings over railway tracks [*Povyshenie bezopasnosti na peshehodnykh perehodah cherez zheleznodorozhnye puti*]. *Put' i putevoe hozjajstvo*, 2014, Iss. 9, pp. 32–37.

6. Ponomarev, V. M. *et al.* Health and safety: Textbook in 2 p. Part 2: Occupational safety in rail transport [*Bezopasnost' zhiznedejatel'nosti: Uchebnik v 2 ch. – Ch.2: Bezopasnost' truda na zheleznodorozhnom transporte*]. Ed. V. M. Ponomarev, V. I. Zhukov. Moscow, TMC ZHDT, 2014, 607 p.

7. Balalaev, S.V., Kologrivaya, I. E. Traffic safety on railways: educational guide in 2 p. Part 1. Safety Essentials [*Bezopasnost' dvizheniya na zheleznykh dorogah: Ucheb. posobie v 2 ch. – Ch.1. Osnovy bezopasnosti*]. Khabarovsk, FESTU publ., 2013, 111 p.

8. Systems of automation and remote control on railways of the world: educational guide [*Sistemy avtomatiki i telemekhaniki na zheleznykh dorogah mira: Ucheb. posobie. Trans. from English*]. Moscow, Intekst publ., 2010, 496 p.

9. Occupational health and life safety [*Ohrana truda i bezopasnost' zhiznedejatel'nosti*]. [Electronic data]: <http://ohrana-bgd.narod.ru/>. Last accessed 22.10.2015.

10. GOST R55804-2013. Information systems for train traffic and warning of the approach of railway rolling stock. General requirements [*GOST R55804-2013. Sistemy informirovaniya o dvizhenii poezdov i opoveshheniya o priblizhenii zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava. Obshhie trebovaniya*]. [Electronic data]: http://standartgost.ru/g/TOCT_P_55804-2013. Last accessed 22.10.2015.

11. Safety during the work. General safety measures on railway tracks [*Tekhnika bezopasnosti pri vypolnenii rabot. Obshhie mery bezopasnosti na zheleznodorozhnykh putyakh*]. [Electronic data]: http://ohrana-bgd.narod.ru/jdtrans/jdtrans2_008.html. Last accessed 22.10.2015.

12. SR227.1326000.2014. The intersections of rail lines with lines of transport and engineering networks. [*SP 227.1326000.2014. Peresecheniya zheleznodorozhnykh linij s linijami transporta i inzhenernymi setjami*]. [Electronic data]: <http://docs.cntd.ru/document/1200120205>. Last accessed 22.10.2015.

13. CCPC for safety [*CCPK za bezopasnost'*]. [Electronic data]: <http://poezd.drezna.ru/info/2012/cppk-za-bezopasnost/>. Last accessed 22.10.2015.

14. Safety, reliability, capacity and cost. [Electronic data]: <http://www.railmagazine.com/operations/safety/safety-reliability-capacity-and-cost>. Last accessed 22.10.2015.

15. Health... as well as safety. [Electronic data]: <http://www.railmagazine.com/people/interviews/health-as-well-as-safety>. Last accessed 22.10.2015.

Information about the authors:

Zhukov, Viktor I. – Ph.D. (Eng.), professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, +7 (495) 684–21–69.

Ptushkina, Lyubov V. – Ph.D. student of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, PtushkinaBGD@yandex.ru.

Timoshenko, Evgeny N. – Ph.D. student of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, Timoshenko2014@yandex.ru.

Article received 22.10.2015, accepted 11.12.2015.

