

## ТРАНСПОРТ

УДК 656.13

РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ КОЛИЧЕСТВА И ТЯЖЕСТИ  
ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ  
С УЧАСТИЕМ ПЕШЕХОДОВ В Г. ГОМЕЛЕ

канд. техн. наук, доц. С.А. АЗЕМША, О.Н. ШУСТ  
(Белорусский государственный университет транспорта, Гомель)

Самыми уязвимыми и незащищенными участниками дорожного движения являются пешеходы. По данным Госавтоинспекции, количество аварий с участием пешеходов в Республике Беларусь за 2020 г. насчитывается 1246 случаев (35,1% от общего числа ДТП), в которых 235 человек погибли и 1065 получили ранения. Места, в которых наиболее часто случаются наезды на пешеходов: регулируемые и нерегулируемые пешеходные переходы и перекрестки; остановки общественного транспорта; мосты, эстакады, путепроводы; другие места, не предназначенные для пешеходного перехода. Согласно стратегии обеспечения безопасности дорожного движения в Республике Беларусь «Добрая дорога», утвержденной на 2018–2025 гг., устранение факторов, влияющих на дорожно-транспортные происшествия (ДТП), должно привести к уменьшению количества погибших в ДТП до не более 350 человек к 2025 г.

**Ключевые слова:** безопасность дорожного движения, пешеход, дорожно-транспортное происшествие, добыча данных, таблицы сопряженности.

**Введение.** Самыми уязвимыми и незащищенными участниками дорожного движения являются пешеходы. С их участием в Республике Беларусь происходит значительно количество дорожно-транспортных происшествий. С их участием в Республике Беларусь происходит значительно количество дорожно-транспортных происшествий. Тяжесть последствий этих аварий, как правило, высока. Поэтому разработка мероприятий по повышению безопасности движения незащищенных категорий участников дорожного движения позволит значительным образом повлиять на ситуацию с аварийностью.

Цель публикации – разработка мероприятий по повышению безопасности движения пешеходов. Объект исследования – движение пешеходов в г. Гомеле. Предмет исследования – безопасность движения пешеходов. Методы исследования – натурные обследования; статистические методы (корреляционный и регрессионный анализ, а также анализ методами Data Mining)<sup>1</sup>.

На рисунке 1 приведена динамика изменения числа погибших в ДТП на территории Республики Беларусь, а также прогнозная регрессионная модель вида

$$F(x) = \frac{1}{0,212645553 \ln(x) - 1,61647762}.$$

Для этой модели коэффициент корреляции равен 0,975, что показывает наличие тесной связи между наблюдаемыми переменными. Также были получены коэффициент детерминации, равный 0,951, критерий Фишера  $F = 254,69$  и  $p$ -уровень значимости  $p < 0,00000$ . Диаграмма распределения остатков продемонстрировала схожесть с нормальным законом распределения. Все это подтверждает значимость полученной модели (1) и ее возможность для целей прогнозирования.

Согласно рисунку 1, при сохранении сложившейся тенденции, прогнозное количество погибших в ДТП в контрольном 2025 г. составит 407. Таким образом, при сохранении сложившейся тенденции целевое значение в 350 погибших, сформулированное в стратегии обеспечения безопасности дорожного движения в Республике Беларусь «Добрая дорога», не будет достигнуто. Это обуславливает необходимость разработки дополнительных мер по снижению ДТП, в т.ч. с участием пешеходов, а также подчеркивает актуальность выбранной темы.

На рисунке 2 приведена диаграмма распределения ДТП по категориям в г. Гомеле за 2010–2020 гг. Наибольшее количество ДТП относится к категории «ТС+пешеход».

<sup>1</sup> Statistica 13.3. Computer program. Serial number JRR709H998119TE-A.

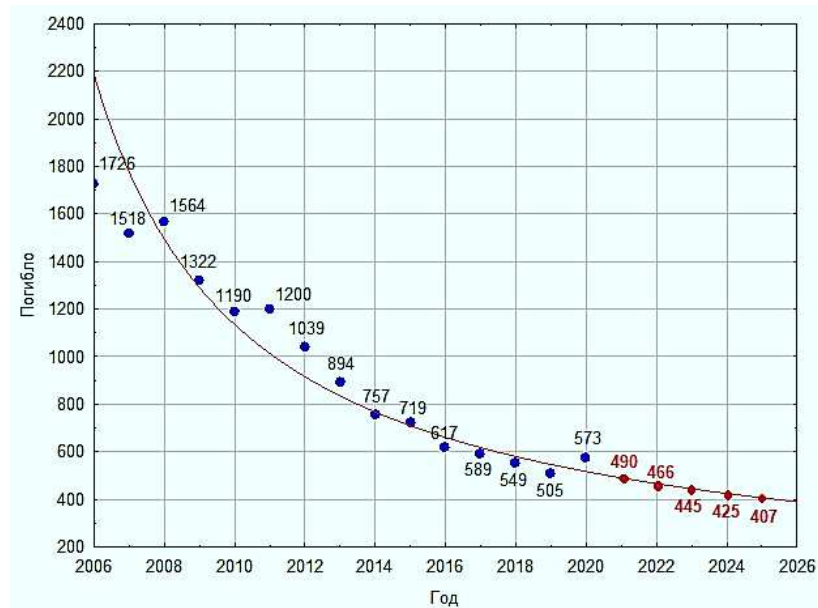


Рисунок 1. – Прогноз числа погибших в ДТП в графической форме



Рисунок 2. – Распределение ДТП по категориям в г. Гомеле, 2010–2020 гг.

Приведенные доводы показывают актуальность тематики повышения безопасности дорожного движения для целей достижения целевых значений, установленных в стратегии обеспечения безопасности дорожного движения в Республике Беларусь «Добрая дорога», а также необходимости разработки в г. Гомеле мероприятий по снижению аварийности с участием пешеходов.

**Основная часть.** Основой для разработки мероприятий по снижению аварийности с участием пешеходов в городе Гомеле послужили статистические данные о ДТП<sup>2</sup>. В качестве источников информации использовалась база данных ГАИ по ДТП, а также натурные данные, собранные с пешеходных переходов г. Гомеля (независимые факторы). В ходе исследования пешеходных переходов оценивались следующие независимые факторы (показатели пешеходных переходов, рисунки 3, 4):

- ширина пешеходного перехода (В);
- тип пешеходного перехода (регулируемый, нерегулируемый);
- наличие искусственной неровности (ИН) и ее вид: ИН1 – для снижения скорости движения автомобилей; ИН2 – искусственная неровность, имеющая вид приподнятого пешеходного перехода; ИН3 – шумовые полосы;

<sup>2</sup> Статистика БЕЛТА [Электронный ресурс]. URL: <https://www.belta.by/incident/view/v-belarusi-v-2020-godu-v-dtp-pogibli-573-cheloveka-iz-nih-22-rebenka-425982-2021/>.

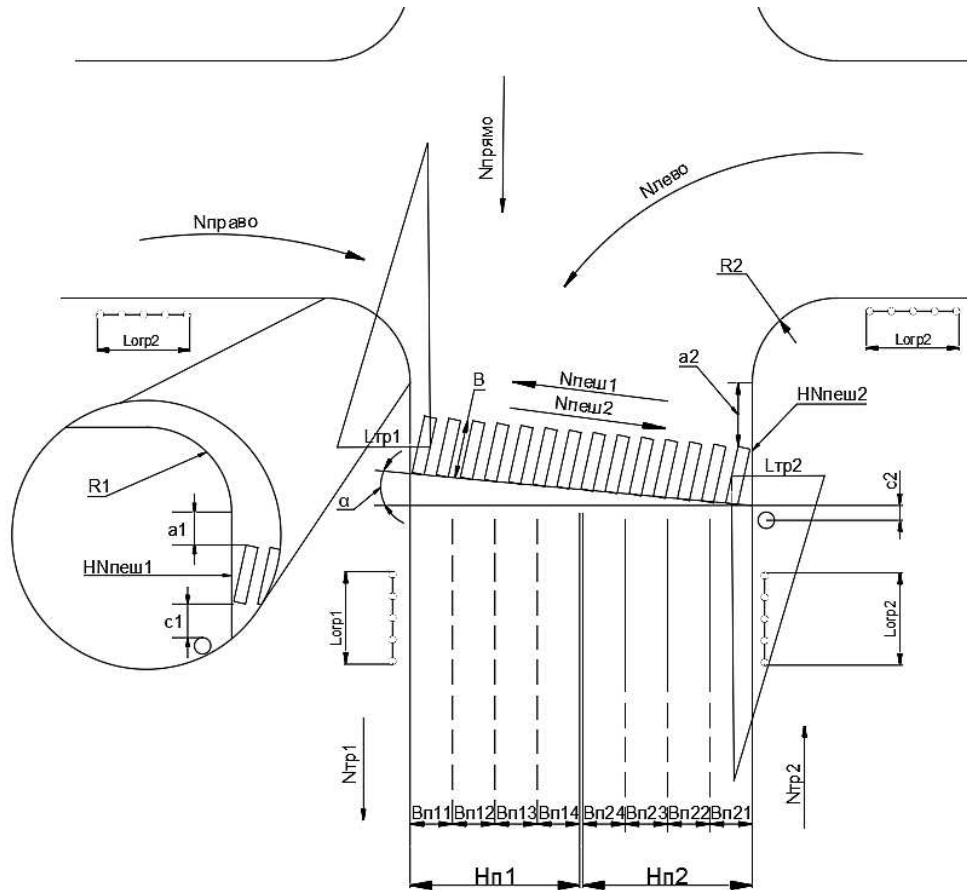


Рисунок 3. – Схема измеряемых параметров при расположении пешеходного перехода на перекрестке

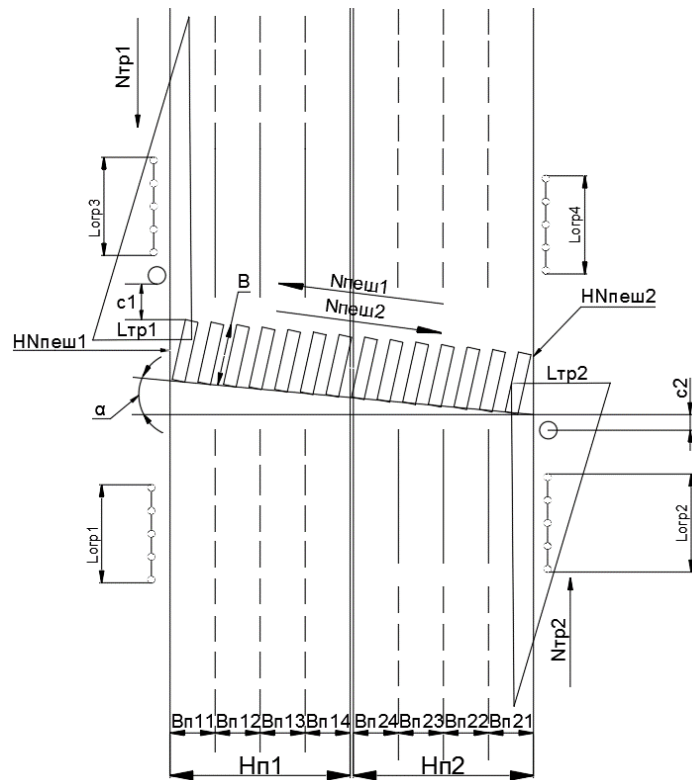


Рисунок 4. – Схема измеряемых параметров при расположении пешеходного перехода на перегоне

- количество полос в каждом направлении (Нп1, Нп2);
- ширина полос движения (Вп);
- ограничение скорости;
- наличие и ширина островка безопасности: 1 – если конструктивно выделенный; 2 – разрыв в разделительной полосе; 3 – выделенный с помощью разметки;
- интенсивность движения транспортных и пешеходных потоков (Нпрямо, Нлево, Нправо, Нтр1, Нтр2, Нпеш1, Нпеш 2);
- наличие табло вызова пешехода;
- угол расположения пешеходного перехода ( $\alpha$ );
- треугольники боковой видимости и их прозрачность (Лтр);
- высота бортового камня на пешеходных переходах (ННпеш1, ННпеш 2);
- наличие пешеходных ограждений и их протяженность (Lогр);
- радиус закругления кромки проезжей части (R1, R2);
- расстояния от окончания закругления кромки ПЧ до края ПП ( $a_1, a_2$ );
- расстояния от края ПП до края ближайшего столба ( $c_1, c_2$ );
- параметры цикла светофорного регулирования;
- наличие конфликтов с право- и левоповоротным транспортным потоками;
- параметры светофорного цикла (рисунок 5): количество рабочих программ контроллера на перекрестке; продолжительность циклов рабочих программ ( $T_{ц}$ ); продолжительность пешеходных тактов (продолжительность зеленого и зеленого моргающего ( $T_{зел}$  и  $T_{зм}$ ); продолжительность переходных интервалов (с предыдущей фазы, последующей фазы ( $T_{пр1}$  и  $T_{пр2}$ )).

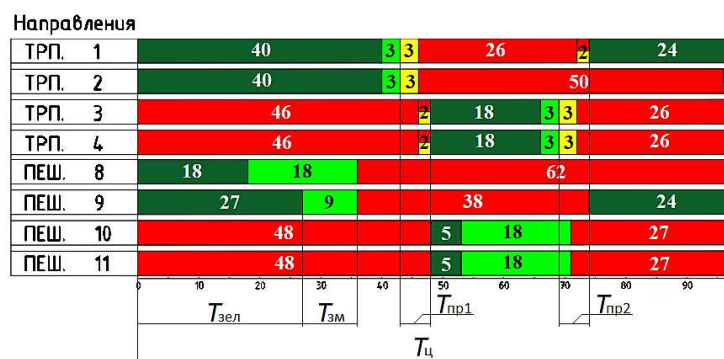


Рисунок 5. – Пример рассматриваемых параметров цикла светофорного регулирования

Данные по вышеперечисленным факторам собраны с 88 пешеходных переходов, расположенных в разных районах г. Гомеля.

В качестве зависимых переменных, описывающих аварийность, использовались следующие абсолютные и относительные показатели аварийности.

Абсолютные – общее количество ДТП, раненых и погибших:

- количество ДТП с участием пешеходов (А);
- количество погибших в ДТП пешеходов ( $A_{п}$ , чел);
- количество раненных в ДТП пешеходов ( $A_{р}$ , чел).

Относительные – показатели аварийности на 100 тыс. жителей, на 10 тыс. транспортных средств:

- количество ДТП с участием пешеходов в расчете на интенсивность ТС, пересекающих пешеходное сечение в вечерний час пик ( $O_{п}^{ТС}$ );
- количество погибших в ДТП пешеходов в расчете на интенсивность ТС, пересекающих пешеходное сечение в вечерний час пик ( $O_{п}^{ТС}$ , чел);
- количество раненных в ДТП пешеходов в расчете на интенсивность ТС, пересекающих пешеходное сечение в вечерний час пик ( $O_{р}^{ТС}$ , чел);
- количество ДТП с участием пешеходов в расчете на интенсивность пешеходов, пересекающих ПЧ по ПП ( $O_{пеш}$ );
- количество погибших в ДТП пешеходов в расчете на интенсивность пешеходов, пересекающих ПЧ по ПП ( $O_{пеш}^{пеш}$ , чел);
- количество раненных в ДТП пешеходов в расчете на интенсивность пешеходов, пересекающих ПЧ по ПП ( $O_{р}^{пеш}$ , чел).

Основной целью исследования было выявление независимых факторов, значимо влияющих на зависимость, а также установление вида такой зависимости и разработка на этой основе мероприятий по снижению числа и тяжести ДТП с участием пешеходов.

На следующем этапе для поиска зависимостей между независимыми и зависимыми переменными в программном продукте Statistica с помощью инструмента Data Mining проведен анализ и отсев наименее значимых независимых факторов, для которых  $p > 0,05$ . В результате этого была получена итоговая таблица.

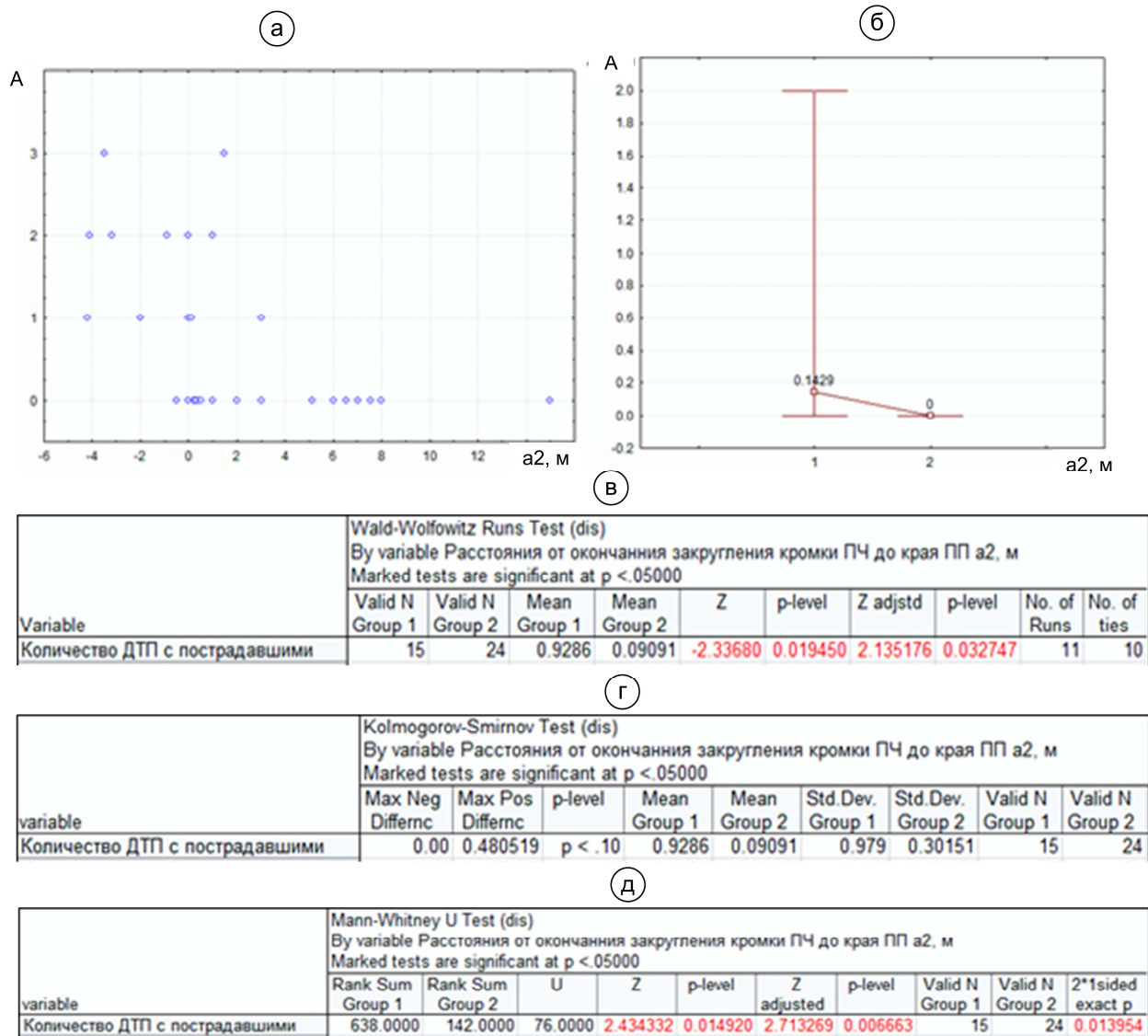
Таблица. – Факторы, значимо влияющие на аварийность

Факторы	F-значение	p-значение
<i>Количество ДТП с участием пешеходов</i>		
Радиус закругления кромки проезжей части ( $R$ , м)	7.941869	0.000002
Расстояния от окончания закругления кромки ПЧ до края ПП ( $a_{1,2}$ , м)	4.878138	0.000187
Продолжительность зеленого пешеходного ( $T_{зел}$ , сек)	3.819967	0.007409
Конфликт с правоповоротным транспортным потоком (ТП)	4.977352	0.028887
<i>Количество погибших в ДТП пешеходов</i>		
Продолжительность переходного интервала с предыдущей фазы для РП2 ( $T_{пр1}$ , сек)	30.07084	0.000000
Расстояния от окончания закругления кромки ПЧ до края ПП ( $a_{1,2}$ , м)	21.55407	0.000000
Ограничение скорости (км/ч)	6.31548	0.003029
Конфликт с левоповоротным ТП	6.66921	0.011902
<i>Количество раненых в ДТП пешеходов</i>		
Радиусы закруглений кромки проезжей части ( $R$ , м)	9.678196	0.000000
Интенсивность ( $N_{тр1}+N_{тр2}$ , ед/ч)	7.044104	0.000008
Расстояния от окончания закругления кромки ПЧ до края ПП ( $a_{1,2}$ , м)	4.789843	0.000223
Конфликт с правоповоротным ТП	3.852233	0.043655
<i>Количество ДТП с участием пешеходов в расчете на <math>10^4</math> ТС</i>		
Ширина пешеходного перехода ( $B$ , м)	2.391898	0.030797
<i>Количество погибших в ДТП пешеходов в расчете на <math>10^4</math> ТС</i>		
Продолжительность переходного интервала с предыдущей фазы для РП2 ( $T_{пр1}$ , сек)	23.07831	0.000000
Расстояния от окончания закругления кромки ПЧ до края ПП ( $a_{1,2}$ , м)	20.82768	0.000000
Продолжительность зеленого пешеходного ( $T_{зел}$ , сек)	6.78267	0.002045
Конфликт с левоповоротным ТП	6.83101	0.010959
<i>Количество раненных в ДТП пешеходов в расчете на <math>10^4</math> ТС</i>		
Ширина пешеходного перехода ( $B$ , м)	2.331753	0.034872
<i>Количество ДТП с участием пешеходов в расчете на <math>10^5</math> населения</i>		
Интенсивность ( $N_{тр1}+N_{тр2}$ , ед/ч)	2.812953	0.017013
Радиусы закруглений кромки проезжей части ( $R$ , м)	2.812596	0.017024
<i>Количество погибших в ДТП пешеходов в расчете на <math>10^5</math> населения</i>		
Продолжительность переходного интервала с предыдущей фазы для РП2 ( $T_{пр1}$ , сек)	25.06558	0.000000
Расстояния от окончания закругления кромки ПЧ до края ПП ( $a_{1,2}$ , м)	19.04920	0.000000
Ограничение скорости (км/ч)	8.22503	0.000625
Продолжительность зеленого пешеходного ( $T_{зел}$ , сек)	8.22060	0.000096
<i>Количество раненных в ДТП пешеходов в расчете на <math>10^5</math> населения</i>		
Радиусы закруглений кромки проезжей части ( $R$ , м)	2.964329	0.012766
Интенсивность ( $N_{тр1}+N_{тр2}$ , ед/ч)	2.791861	0.017707

Согласно таблице, не каждый фактор влияет на все показатели аварийности. Наиболее значимыми факторами, воздействующими на наибольшее количество показателей аварийности, являются: расстояния от окончания закругления кромки ПЧ до края ПП, радиус закругления кромки проезжей части, продолжительность переходного интервала с предыдущей фазы для РП2, продолжительность зеленого пешеходного, конфликт с лево- и правоповоротным ТП, интенсивность  $N_{тр1}+N_{тр2}$ .

Далее с помощью диаграммы рассеяния рассмотрено влияние каждой независимой переменной таблицы на показатели аварийности и с помощью статистических критериев оценено наличие значимости такого влияния (рисунок 6).

Из рисунка 6, *а* видно, что количество ДТП с участием пешеходов равно нулю для тех из них, на которых параметр  $a_2$  больше 4 м. На рисунке 6, *б* данные диаграммы рассеивания рисунка 6, *а* представлены в виде диаграммы размаха двух групп переменных. При этом в первую группу вошли пешеходные переходы с  $a_2$  до 4 м, а во вторую – больше 4 м. Прослеживается наличие в показателе аварийности для двух рассматриваемых групп (рисунк 6, *б*). На рисунках 6, *в*, *г* оценена значимость в показателе аварийности  $A$  между двумя группами перекрестков соответственно по тесту Вальда–Вольфовица, тесту Колмогорова–Смирнова,  $U$ -тесту Мана–Уитни. По тесту Вальда–Вольфовица и  $U$ -тесту Мана–Уитни значения показателя аварийности  $A$  значимо отличаются в двух рассматриваемых группах пешеходных переходов.



**а** – диаграмма рассеивания; **б** – диаграмма размаха; **в** – тест Вальда–Вольфовица; **г** – тест Колмогорова–Смирнова; **д** – *U*-тест Мана–Уитни

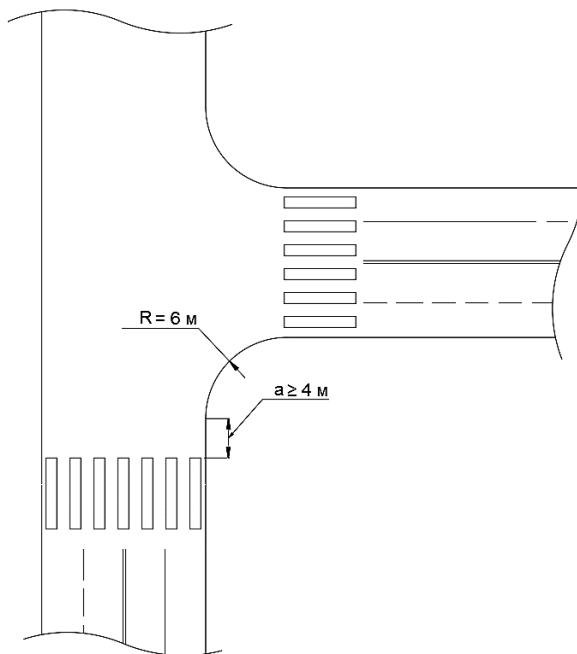
**Рисунок 6. – Определение влияния расстояния от окончания закругления кромки проезжей части до края пешеходного перехода (а2) на количество ДТП с участием пешеходов (А)**

Аналогичные статистические процедуры были применены для всех пар зависимых и независимых переменных, приведенных в таблице. Полученные при этом результаты показывают, что на показатели аварийности с участием пешеходов влияют:

- расстояния от окончания закругления кромки ПЧ до края ПП (а1, а2, см. рисунок 3);
- радиус закругления кромки проезжей части (R1, R2, см. рисунок 3);
- продолжительность переходного интервала с предыдущей фазы (Тпр1, см. рисунок 5);
- продолжительность зеленого пешеходного (Тзел);
- конфликт с лево- и правоповоротным транспортными потоками;
- интенсивность транспортного потока через пешеходный переход (Nтр1+Nтр2, см. рисунок 3).

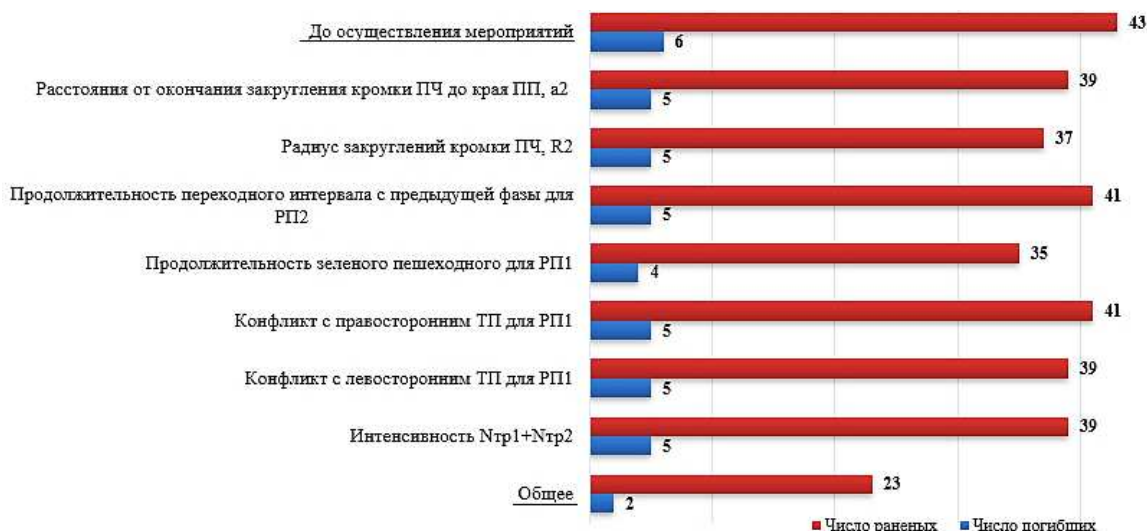
Это явилось основой для предложений следующих мероприятий для снижения количества и тяжести последствий ДТП с участием пешеходов:

- пешеходный переход на перекрестке должен быть расположен на расстояние не менее 4 м от края закругления кромки проезжей части (см. рисунок 7);
- радиус закругления кромки проезжей части на пересечениях и примыканиях в одном уровне следует принимать исходя из категории улицы согласно ТКП 45-3.03-227-2010, а в случаях, когда он равен меньше 6 м, принимать его равным 6 м (см. рисунок 7);



**Рисунок 7. – Оптимальные значения расстояния от начала закругления кромки проезжей части до пешеходного перехода и радиуса такого закругления**

- оптимизация переходных интервалов светофорного цикла;
- минимальное значение продолжительности зеленого пешеходного должна быть не менее 10 с (Тзел, см. рисунок 5);
- оптимизировать структуры циклов светофорного регулирования с учетом допустимости конфликтов пешеходных потоков с право- и левоповоротными транспортными потоками;
- разрабатывать мероприятия по снижению интенсивности транспортные потоков (платные парковки, выделенные полосы и приоритетный проезд на перекрестках общественного транспорта и т.д.).



**Рисунок 8. – Прогнозируемые значения числа погибших и раненых от внедрения предложенных мероприятий**

Для оценки экономического эффекта от рассмотренных мероприятий с помощью программного продукта Statistica методами Data Miner был создан внедряемый файл на основании имеющихся исходных данных. В данный файл вносились изменения по рассматриваемым факторам. Например, было получено что радиус закругления кромки ПЧ должен быть не более 6 м. На этом основании на всех пешеходных переходах, не удовлетворяющих данной величине, показатель заменяется на 6 м. Далее программа генерирует PMML (Predictive Models Markup Language – язык разметки для прогнозного моделирования) файл, подбирая наибо-



лее подходящий модуль для прогнозирования. Затем с помощью модуля «Rapid Deployment of Predictive Models – быстрое внедрение прогнозирующих моделей» осуществлялось вычисление прогнозного значения показателей аварийности с помощью полностью обученной модели.

При совокупности внедрения предложенных мероприятия общее число погибших снизится с 6 человек до 2, раненых – с 43 до 23, что эквивалентно более 675 тыс. долл. (см. рисунок 8).

**Заключение.** В рамках данной работы произведены натурные обследования 88 пешеходных переходов города Гомеля. В результате чего были получены значения таких независимых переменных (ширина пешеходного перехода и полос для движения ТС, ограничения скорости, интенсивность транспортных и пешеходных потоков, радиусы закругления кромки ПЧ, параметры светофорного регулирования и т.д.). Затем в программном продукте STATISTICA произведен анализ, в ходе которого было выявлено, что наиболее значимое влияние на показатели аварийности оказывают:

- расстояния от окончания закругления кромки ПЧ до края ПП (a1, a2 на рисунке 3);
- радиус закругления кромки проезжей части (R1, R2 на рисунке 3);
- продолжительность переходного интервала с предыдущей фазы (Tпр1 на рисунке 5);
- продолжительность зеленого пешеходного (Тзел);
- конфликт с лево- и правоповоротным транспортными потоками;
- интенсивность транспортного потока через пешеходный переход (Nтр1+Nтр2 на рисунке 3).

С учетом этого был предложен ряд мероприятий по повышению безопасности движения пешеходов, реализация которых позволит сократить число погибших в ДТП в г Гомеле на 66,7%, раненых на 46,5%. При этом будет достигнут экономический эффект в размере 675 тыс. долл. в год.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Аземша, С.А. Применение научных методов в повышении безопасности дорожного движения / С.А. Аземша, А.Н. Старовойтов ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2017. – 191 с.
2. Боровиков, В.И. STATISTICA: искусство анализа данных на компьютере / В.И. Боровиков. – СПб. : Питер, 2001. – 650 с. : ил. + CD-ROM. – (Для профессионалов).
3. Боровиков, В.П. Популярное введение в современный анализ данных в системе STATISTICA / В.П. Боровиков. – М. : Горячая линия. Телеком, 2013. – 288 с.

#### REFERENCES

1. Azemsha, S.A. & Starovoytov, A.N. (2017). *Primeneniye nauchnykh metodov v povyshenii bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya* [Application of scientific methods in improving road safety]. Gomel': Bel-GUT. (In Russ.).
2. Borovikov, V.I. (2001). *STATISTICA: iskusstvo analiza dannykh na komp'yutere* [STATISTICA: the art of computer data analysis]. St. Petersburg: Piter. (In Russ.).
3. Borovikov, V.P. (2013). *Populyarnoye vvedeniye v sovremennyy analiz dannykh v sisteme STATISTICA* [A popular introduction to modern data analysis in the STATISTICA system]. Moscow: Goryachaya liniya. Telekom. (In Russ.).

Поступила 17.02.2022

### DEVELOPMENT OF MEASURES TO REDUCE THE NUMBERS AND SEVERITY ROAD ACCIDENTS WITH PEDESTRIAN PARTICIPATION IN GOMEL

S.A. AZEMSHA, O.N. SHUST

*The most vulnerable and unprotected road users are pedestrians. According to the State traffic inspectorate, the number of accidents involving pedestrians in the Republic of Belarus for 2020 totals 1246 cases (35,1% of the total number of accidents), in which 235 people died and 1065 were injured. Places with the most frequent pedestrian collisions:*

- regulated and unregulated pedestrian crossings and intersections;
- public transport stops;
- bridges, flyovers, overpasses;
- and other places not intended for a pedestrian crossing.

*According to the strategy for ensuring road safety in the Republic of Belarus “Good Road” approved for 2018–2025, the elimination of factors affecting road traffic accidents (RTA) should lead to a decrease in the number of deaths in road accidents to no more than 350 people by 2025.*

**Keywords:** traffic safety, pedestrian, traffic accident, data mining, contingency tables.