

УДК 656

Г. М. Кухаренок, д-р техн. наук, проф., Д. В. Капский, канд. техн. наук, доц.,  
Б. У. Бусел, канд. техн. наук, доц.

## ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕРОВНОСТЕЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

Приводятся результаты исследования возможности применения искусственных неровностей на улично-дорожной сети городов. Разработана методика расчета экономических потерь на искусственных неровностях, позволяющая оценить потери в зоне пешеходного перехода, который обустроен искусственной неровностью. Рассмотрен пример и показана целесообразность реализации иных, нежели искусственная неровность, решений. Даны рекомендации по применению искусственных неровностей на дорогах и улицах населенных пунктов в Республике Беларусь.

*Искусственная неровность* – специфическое техническое средство принудительного силового ударно-инерционного воздействия на движущееся дорожное транспортное средство и находящихся в нем (на нем) людей и грузов, предназначенное для принуждения водителя к снижению скорости до заданных пределов в установленном сече-

нии дороги или улицы [1].

Процесс проезда искусственной неровности по своему характеру очень близок к процессу остановки (без существенной задержки) транспортного средства – то же торможение, та же очень короткая остановка, тот же, как правило, интенсивный разгон (рис. 1).

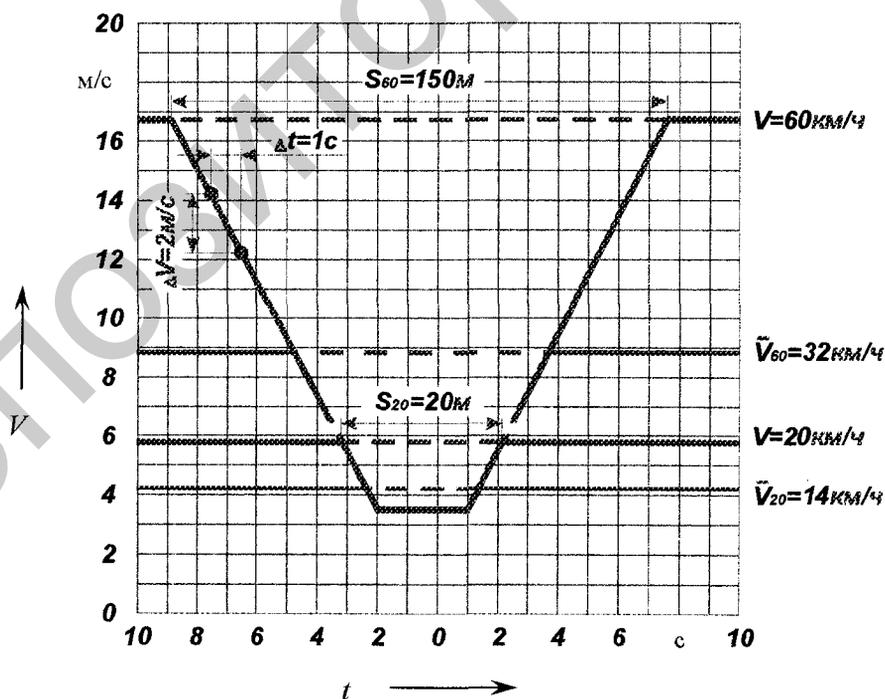


Рис. 1. Скорость движения в зоне установки искусственной неровности:  $V$  – скорость движения;  $t$  – время

Отличие заключается в том, что при «остановке» скорость на очень короткое время падает до 0, а при проезде искусственной неровности – до 10...20 км/ч. Однако при проезде через искусственную неровность значительно увеличиваются нагрузки (а следовательно, и износ) на подвеску, несущие конструкции и трансмиссию транспортного средства, а

также нагрузка на водителя и пассажиров. Для подтверждения данного факта были проведены исследования с помощью программного комплекса кафедры «Автомобили» БНТУ. Выбран участок длиной около 340 м, на котором имеются микронеровности и одна искусственная неровность, высота которой равна 6 см (рис. 2).

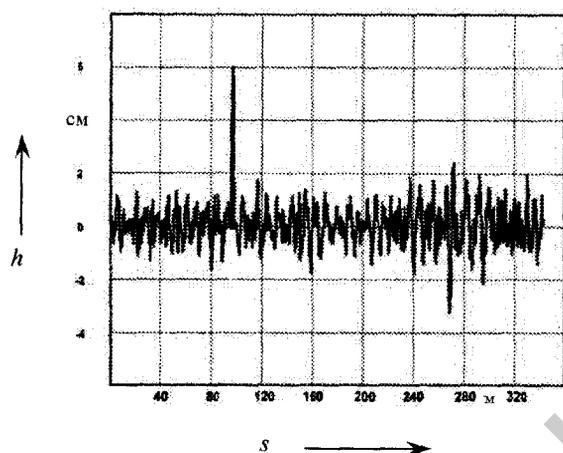


Рис. 2. Микронеровности покрытия исследуемого участка дороги

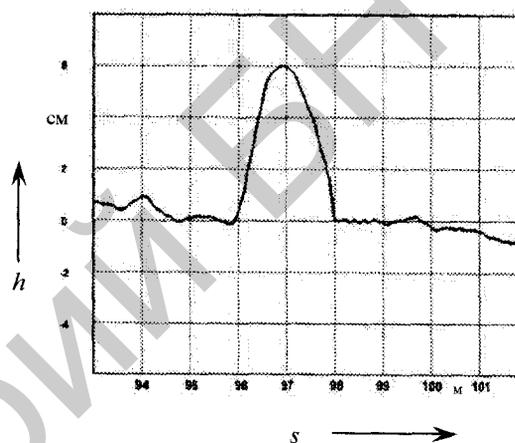


Рис. 3. Участок исследуемой дороги в зоне устройства искусственной неровности

Более детально представлен рельеф дороги в зоне искусственной неровности на рис. 3. Сделано при моделировании допущение, что проезд неровности осуществляется с постоянной скоростью (т. е. вынужденно пренебрегли торможением автомобиля перед искусственной неровностью и затем его разгоном до необходимой скорости движения). На рис. 4 представлен результат моделирования движения автомобиля по дороге с покрытием, имеющим микронеровности, но без искусственной неровности. На рис. 5 видно ударное воздействие, действующее на автомобиль при проезде искусственной неровности. Полученные в процессе моделирования данные свидетельствуют, например, о том, что темп накопления усталостных повреждений при проезде на скорости

12 км/ч через единичную искусственную неровность составляет  $206,4 \cdot 10^6$ , в связи с чем коэффициент форсирования по выработке ресурса в сравнении с движением по дороге без искусственной неровности равен 6.

В «Концепции обеспечения безопасности дорожного движения в Республике Беларусь», разработанной согласно Указу Президента Республики Беларусь № 551 от 28 ноября 2005 г. и утвержденной Постановлением Совета Министров Республики Беларусь 14 июня 2006 г. № 757, четко указано, что дорожное движение содержит не одну, а четыре основные угрозы – аварийную, экологическую, социальную и экономическую. Поэтому повышение качества дорожного движения подразумевает снижение потерь во всех видах

опасности, но никак не снижение потерь в одном виде за счет многократного их увеличения в других. Установка искусственной неровности, как оказалось, на 1 р. снижения социально-экономичес-

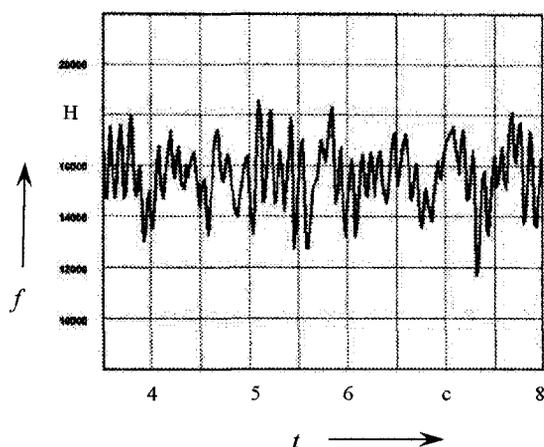


Рис. 4. Результаты моделирования действующих нагрузок при движении автомобиля по дороге без искусственной неровности

Поэтому принято допущение, что основные издержки при проезде искусственной неровности определяются как одна остановка транспортного средства с разрешенной скорости движения:

20 км/ч – в жилых и пешеходных зонах и на приравненных к ним дворовых территориях;

60 км/ч – на улицах населенных пунктов независимо от наличия местных ограничений;

90 км/ч – вне населенных пунктов независимо от наличия местных ограничений.

Кроме того, имеются еще дополнительные издержки, связанные с образованием и рассасыванием небольших очередей при подходе к искусственной неровности относительно плотных пачек автомобилей, или при наличии нерегулируемого пешеходного перехода, расположенного в непосредственной близости (до 30 м) от искусственной неровности. Это связано с тем, что поток насыщения (наибольшая средняя интен-

сивность убытия автомобилей из очереди) на искусственной неровности значительно меньше, чем на ровном покрытии, – соответственно, 0,33 и 0,5...0,55 авт/с. Именно поэтому при проезде через искусственную неровность плотных пачек автомобилей, интервал прибытия которых, как правило, близок к 2 с, а интервал убытия, как правило, равен 3 с (т. е. убытие происходит медленнее, чем прибытие), начинают формироваться и вскоре рассасываться небольшие очереди. А при наличии нерегулируемого пешеходного перехода вблизи искусственной неровности по той же причине очереди образуются и нарастают заметно быстрее, а рассасываются заметно медленнее.

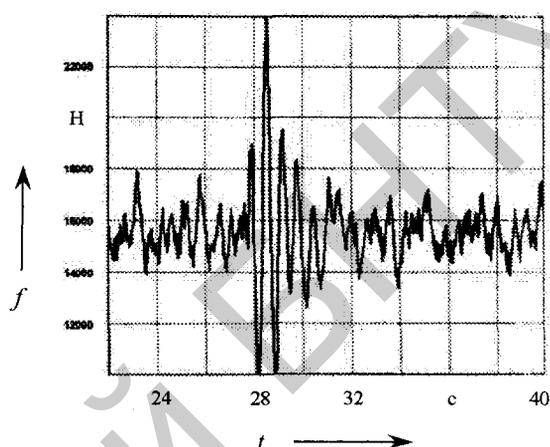


Рис. 5. Результаты моделирования действующих нагрузок при движении автомобиля по дороге с искусственной неровностью

сивность убытия автомобилей из очереди) на искусственной неровности значительно меньше, чем на ровном покрытии, – соответственно, 0,33 и 0,5...0,55 авт/с. Именно поэтому при проезде через искусственную неровность плотных пачек автомобилей, интервал прибытия которых, как правило, близок к 2 с, а интервал убытия, как правило, равен 3 с (т. е. убытие происходит медленнее, чем прибытие), начинают формироваться и вскоре рассасываться небольшие очереди. А при наличии нерегулируемого пешеходного перехода вблизи искусственной неровности по той же причине очереди образуются и нарастают заметно быстрее, а рассасываются заметно медленнее.

Образование очередей вызывает задержки транспорта и дополнительные остановки (со скорости порядка 20 км/ч) при ступенчатом перемещении автомобилей на первую позицию в очереди. Это обычная практика и она учитывается при расчете потерь, как правило, на

каждой искусственной неровности (кроме очень малонагруженных, расположенных в жилых зонах и дворовых территориях).

Наконец, возможны случаи, когда на искусственной неровности возникает транспортно-пешеходная перегрузка, вызывающая образование долго не рассасывающихся (от 10...15 мин до нескольких часов) очередей автомобилей. Как правило, это имеет место из-за резкого средне- или долгосрочного увеличения пешеходной либо транспортной нагрузки, либо и той и другой одновременно, что нередко случается в так называемые часы пик. Эта ситуация также учитывается в расчетах.

При расчете удельных задержек и дополнительных остановок транспорта возникли определенные трудности, связанные с отсутствием однозначного приоритета пешеходов при переходе проезжей части по нерегулируемому пешеходному переходу.

Известно [2...4], что переход проезжей части по пешеходному переходу в нерегулируемом режиме состоит из трех частей (фаз) – выход на проезжую часть, собственно переход и окончание перехода. Сегодняшние Правила дорожного движения [5] дают пешеходу преимущество в двух фазах из трех: в собственно переходе и в окончании перехода. В то же время начинать переход проезжей части пешеход может лишь тогда, когда он убедится в безопасности выхода, т. е. если он не вынудит водителя приближающегося автомобиля снизить скорость движения или остановиться. В результате применение известных формул расчета удельных задержек и остановок транспорта (и пешеходов) в нерегулируемом конфликте, когда один из конфликтующих участников имеет однозначный приоритет, является не совсем корректным. Поэтому было признано возможным и целесообразным заменить модель расчета задержек и остановок транспорта (пешеходов) для нерегулируемого режима мо-

делью расчета для псевдорегулируемого режима.

Возможность такой замены объясняется самой структурой процесса пересечения в нерегулируемом режиме. Известно, что второстепенный участник может выполнить маневр пересечения только тогда, когда в главном конфликтующем потоке имеется достаточный (приемлемый) интервал. Поэтому время, занятое интервалами, меньшими минимального приемлемого, является запрещенным для движения второстепенного участника. Известно также [2, 3], что в каждом приемлемом интервале имеются так называемые «критические интервалы», расположенные по обе стороны от крайних габаритных точек главного конфликтующего участника и равные, примерно, по 1,5 с, въезд в которые второстепенному участнику запрещен. Следовательно, зная величину минимального приемлемого интервала, закон распределения интервалов и интенсивность движения главного конфликтующего потока, можно определить в течение 1 ч число приемлемых интервалов и суммарное время, запрещенное и разрешенное для движения второстепенных участников. В результате, разделив общее время, скажем 1 ч, на число приемлемых интервалов, получим продолжительность условного светофорного цикла, в котором соотношение продолжительности красного и зеленого сигналов равно соотношению суммарного запрещенного и разрешенного времени для движения второстепенного участника.

При определении интенсивности движения главного конфликтующего потока следует учитывать то обстоятельство, что через пешеходный переход пешеходы идут как поодиночке, так и рядами из двух, трех и более человек. Следовательно, расчетная интенсивность движения пешеходного потока будет несколько меньше фактической и определяться не количеством пешеходов, а количеством рядов пешеходов. Зная закон распределения пешеходного

движения, ширину пешеходного перехода и интенсивность движения пешеходов, можно определить интенсивность движения рядов пешеходов, т. е. расчетную интенсивность главного конфликтующего потока.

На рис. 6 показана схема перехода от модели расчета удельных задержек и остановок транспорта для нерегулируемого режима к модели расчета для псевдорегулируемого режима.

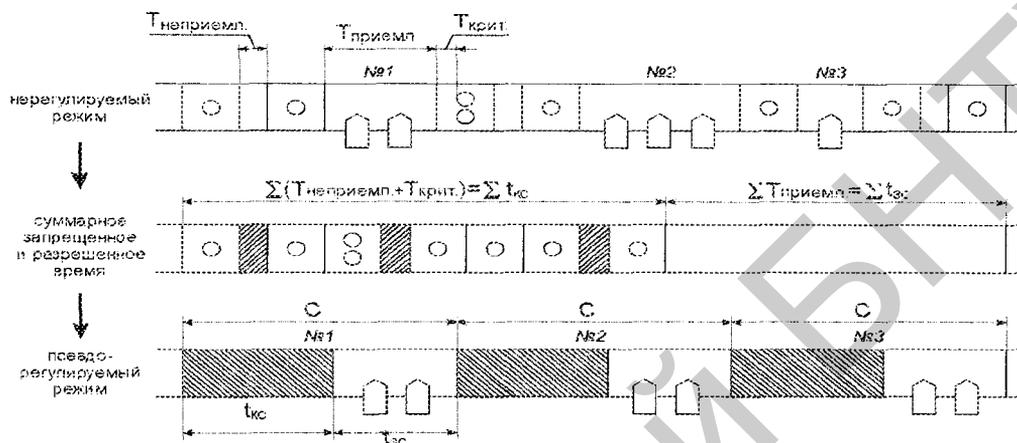


Рис. 6. Схема перехода от модели расчета задержек и остановок для нерегулируемого режима к модели расчета для псевдорегулируемого режима

Определив таким образом параметры условного светофорного цикла, можно рассчитать удельные задержки и дополнительные остановки для любых соотношений интенсивности движения конфликтующих потоков. По результатам расчетов были построены графики зависимостей удельной задержки и удельной дополнительной остановки автомобилей для соотношения интенсивности движения пешеходов от 50 до 1000 чел./ч и приведенной (по динамическому коэффициенту приведения  $K_{пн}$ ) интенсивности движения транспорта от 50 до 1000 ед./ч.

При определении параметров условного светофорного цикла и построении графиков использовались следующие расчетные зависимости [2... 4].

Минимальный приемлемый интервал в пешеходном потоке

$$T_p = 1,15 \cdot b_{пеш} \cdot K_{ун} \cdot \sqrt{K_{пн2}} \cdot 1,05^{0,1(V_2-60)},$$

где  $K_{ун}$  – коэффициент условий;  $K_{пн2}$  –

динамический коэффициент приведения транспортного потока;  $V_2$  – скорость движения транспортного потока при подходе к пешеходному переходу, км/ч;  $b_{пеш}$  – ширина пешеходного перехода, м.

Принято, что распределение интервалов движения  $T$  в пешеходном потоке подчиняется экспоненциальному закону

$$P(T) = e^{-q^*T},$$

где  $q^*$  – расчетная интенсивность движения пешеходов, чел./ч;  $T$  – исследуемый интервал движения, с.

При определении  $q^*$  использовался закон распределения Пуассона относительно пешеходов в пешеходном потоке в интервале 2 с (один ряд пешеходов) по всей ширине пешеходного перехода, принятой равной 5 м, т. е. до пяти пешеходов в ряд ( $n = 5$ ):

$$q^* = q_p \left( 1 - \sum_{n=2}^5 \left[ \frac{(q_p T)^n}{n!} \cdot e^{-q_p T} \right] \right),$$

где  $T$  – интервал в пешеходном потоке, в котором находящиеся пешеходы образуют неразрывный «ряд пешеходов»,  $T = 2$  с;  $q_p$  – интенсивность движения пешеходов (физическая), чел./с;  $n$  – число пешеходов в ряду,  $n = 1, \dots, 5$ .

Расчет удельных задержек транспорта производился для отдельной полосы по упрощенной формуле Вебстера [1, 3]:

$$e_t = 0,45 \left[ \frac{C(1-\lambda)^2}{1-\lambda X} + \frac{X^2}{q(1-X)} \right],$$

где  $C$  – продолжительность условного цикла регулирования, с;  $\lambda$  – доля зеленого сигнала в цикле;  $X$  – коэффициент загрузки полосы движением;  $q$  – интенсивность движения на полосе.

В случаях перегрузки, когда  $X > 0,93$ , расчет удельных задержек производился по формуле Брилона и Ву:

$$e_t = \frac{C(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda X)} + \frac{N_0}{q_n \lambda},$$

где  $q_n$  – поток насыщения;  $N_0$  – средняя длина очереди перед стоп-линией за период существования перегрузки:

– при  $0,93 < X < 1,14$

$$N_0 = 2,54 \cdot T_0 \cdot q_n \cdot \lambda \times$$

$$\times \left[ (1,09X - 1) + \sqrt{(1,09X - 1)^2 + 175q_n \cdot \lambda} \right];$$

– при  $X \geq 1,14$

$$N_0 = 900 \cdot T_0 \cdot q_n \cdot \lambda \times$$

$$\times \left[ (X - 1) + \sqrt{\frac{(X - 1)^2 + X - 0,92X_0 - 0,08}{300q_n \cdot \lambda}} \right].$$

В этих формулах  $T_0$  – продолжительность периода перегрузки, ч;  $X_0$  – значение коэффициента  $X$ , выше которого будут ожидать перенасыщенные циклы (когда очередь перед стоп-линией не рассасывается за один свето-

форный цикл):

$$X_0 \approx 0,67 + \frac{q_n \cdot \lambda \cdot C}{600}.$$

Поскольку в области высоких нагрузок ( $X > 0,8$ ) значения  $e_t$ , подсчитанные по приведенным формулам, не совсем совпадают (имеются разрывы функции), то в этой области производилось графоаналитическое сглаживание и зависимости приобрели вид, приведенный на рис. 7.

Расчет удельных дополнительных остановок производился по формуле

$$e'_0 = (1 - \lambda) \cdot K_0,$$

где  $K_0$  – коэффициент приращения очереди:

$$K_0 = \frac{q_n}{q_n - q}.$$

В случаях перегрузки, когда  $X > 0,93$ , расчет удельных дополнительных остановок производится по формуле

$$e'_0 = \frac{N_0}{q_n \cdot \lambda \cdot C},$$

где  $N_0$  – средняя длина очереди перед стоп-линией за период существования перегрузки.

Поскольку в области высоких нагрузок ( $X > 0,8$ ) значения  $e'_0$ , подсчитанные по приведенным формулам, не совсем совпадают (имеются разрывы функции), то в этой области также произведено графоаналитическое сглаживание и зависимости приобрели вид, приведенный на рис. 8.

Была выполнена проверка адекватности разработанной методики расчета для псевдорегулируемого режима и существующей методики расчета для нерегулируемого режима. Проверка производилась для трех искусственных неровностей со слабой, умеренной и высокой транспортно-пешеходной нагрузками.

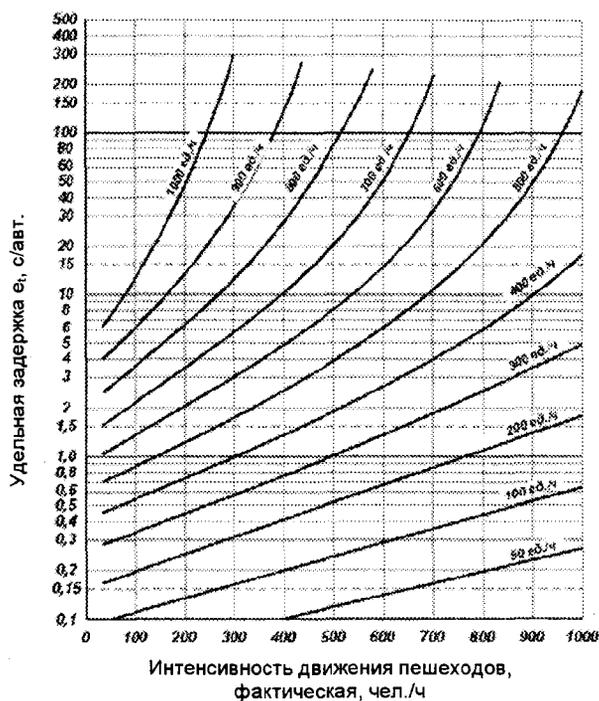


Рис. 7. График для определения удельной задержки при наличии пешеходного перехода

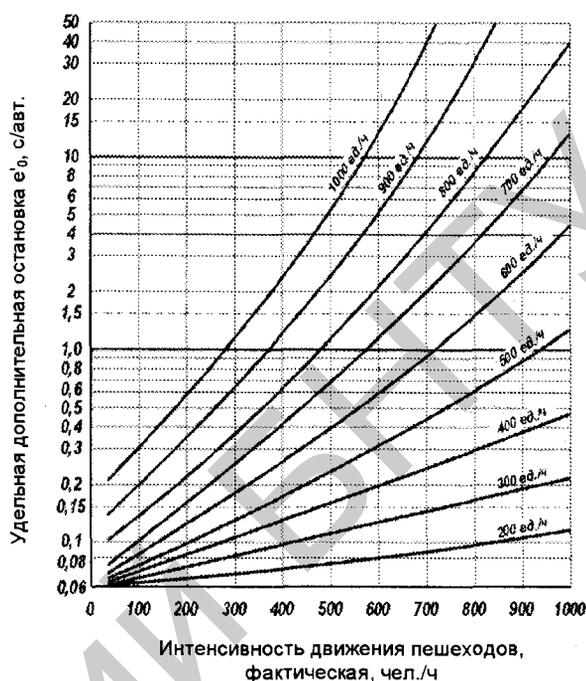


Рис. 8. График для определения удельных дополнительных остановок при наличии пешеходного перехода

Экспериментально определялись интенсивность движения транспорта и пешеходов, а также количество дополнительных остановок и продолжительность задержки транспорта. Затем по данной интенсивности движения транспорта и пешеходов определялись расчетные значения удельной задержки  $e_t$  и удельной дополнительной остановки  $e'_0$  по двум методикам. Для новой методики значения  $e_t$  и  $e'_0$  определялись по графикам (см. рис. 7 и 8), а для существующей методики – по формулам:

$$e_t = \frac{e^{-q_p^* T_p} - q_p^* T_p - 1}{q_p^* - q_2 (e^{-q_p^* T_p} - q_p^* T_p - 1)};$$

$$e'_0 = 1 - \frac{1}{e^{(2,5q_2 + 2q_p^* T)} - e^{2q_p^* T_p} + e^{q_p^* T_p}},$$

где  $q_p^*$  – расчетная интенсивность дви-

жения пешеходов, чел./ч;  $q_2$  – интенсивность движения транспортного потока на полосе;  $T_p$  – минимальный приемлемый интервал в пешеходном потоке, с.

Установлено, что в области низких нагрузок результаты сопоставимы, в области средних нагрузок модель псевдо-регулируемого конфликта существенно точнее, а в области высоких нагрузок и перегрузок модель нерегулируемого конфликта не работает. Это можно объяснить тем, что в обычных условиях при средних и высоких нагрузках нерегулируемые конфликты не допускаются и заменяются регулируемыми. Здесь же, на искусственных неровностях, нерегулируемый режим остается не только при средних и высоких нагрузках, но и при перегрузках. Искусственная неровность уменьшает аварийные потери от снижения количества и степени тяжести аварий с пострадавшими, но резко увеличивает экономические, экологические и

социальные потери. Это обстоятельство делает применение искусственных неровностей, в сравнении с другими мерами – улучшение видимости и условий маневрирования, обозначение зоны пешеходного перехода, ограничение скорости с автоматическим контролем, организация пешеходного перехода типа «Выбор» и др. – функционально неадекватным, экономически и экологически расточительным и социально разрушительным [9...11].

Искусственная неровность может применяться на участках концентрации аварий, основной причиной которых является доказанное в установленном порядке превышение скорости движе-

ния в местах, где согласно законодательству скорость движения ограничена до 20 км/ч – пешеходные и жилые зоны, а также приравненные к ним дворовые территории. Допускается применение искусственных неровностей на участках концентрации аварий, расположенных на улицах и дорогах населенных пунктов с общим ограничением скорости 60 км/ч, если будет доказано в установленном порядке, что все другие меры по снижению аварийности либо невозможны, либо неэффективны. При этом точная интенсивность движения, в зависимости от типа застройки, не должна превышать значений, указанных в табл. 1.

Табл. 1. Интенсивность движения автомобилей в обоих направлениях

Тип застройки	Интенсивность движения
Многоэтажная, плотная, двухсторонняя	500
Многоэтажная, плотная односторонняя либо многоэтажная, свободная, двухсторонняя	750
Многоэтажная, свободная, двухсторонняя либо одноэтажная, двухсторонняя	1000
Одноэтажная, односторонняя	1250
Незастроенная (в радиусе до 50 м) территория населенного пункта	1500

Необходимо запретить установку искусственных неровностей: на загородных дорогах любой категории; на улицах и дорогах населенных пунктов с интенсивностью движения более указанной в табл. 1; на улицах населенных пунктов с числом полос четыре и более при любой интенсивности движения. Необходимо, чтобы место установки искусственной неровности было обустроено стационарным (уличным) освещением.

После разработки методики определения экономических потерь на искусственных неровностях стало возможным оценить и сопоставить все виды потерь в дорожном движении. Для иллюстрации разработки лучшего вари-

анта решения по организации движения выбран участок ул. Я. Коласа, на котором расположен нерегулируемый пешеходный переход. Выполнены исследования условий движения, транспортной и пешеходной нагрузки и другое по методикам, изложенным в [3, 8]. Сделан анализ размещения ТС ОДД в соответствии с [6, 7]. По данным, предоставленным УГАИ ГУВД Мингорисполкома, был выполнен анализ аварийности по отчетным авариям, по карточкам происшествий с материальным ущербом (предоставлены ОГАИ Советского РУВД) – анализ аварийности по неотчетным авариям, совершенным на пешеходном переходе (рис. 9).

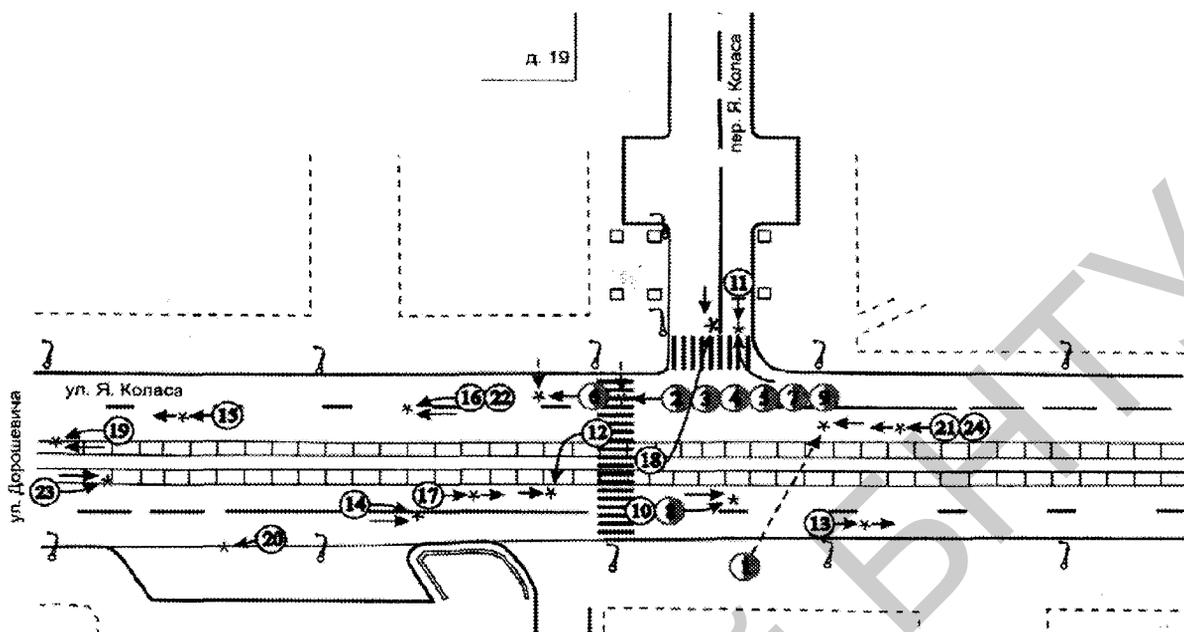


Рис. 9. Очаговый анализ аварийности на исследуемом перекрестке

Из очагового анализа четко вырисовывается однотипность совершенных аварий с пострадавшими – это наезд на пешехода. Очевидно, что с 2008 г. увеличилась тяжесть последствий ДТП, о чём свидетельствуют шесть происшествий с ранеными. На многополосной улице добавляется дополнительная опасность наезда на пешехода на второй полосе. Как показывают экспериментальные исследования, водитель автомобиля, видя движущегося по пешеходному переходу пешехода, начинает снижать скорость, справедливо полагая, что при такой скорости автомобиля пешеход успеет покинуть полосу движения. Но выйдя из полосы движения этого автомобиля, пешеход становится жертвой другого автомобиля, который не видел пешехода и двигался, не снижая скорость, полагая, что рядом движущийся автомобиль снизил скорость ввиду «пробки», выполнения поворота и т. п.

Для визуализации загрузки разработан график, представленный на рис. 10, на котором отображена загрузка

по полосам движения исследуемого участка ул. Я. Коласа. Видно, что больше загружена вторая полоса движения как в прямом, так и в обратном направлении. Как ранее упоминалось, интенсивность движения распределяется по полосам достаточно равномерно. Следует отметить, что загрузка не достигает предельного значения. Также определена пропускная способность исследуемого объекта ул. Я. Коласа (рис. 11).

Значение пропускной способности может кратковременно снижаться при увеличении интенсивности движения пешеходов или использовании проезжей части улицы для остановки транспорта. На перекрестке в час пик наблюдается значительное скопление автомобилей, движущихся в направлении ул. Сурганова, однако этот факт не свидетельствует о недостаточной пропускной способности исследуемого объекта, а связан с образованием очередей на светофорных объектах ул. Я. Коласа – ул. Хмельницкого и ул. Я. Коласа – ул. Сурганова.

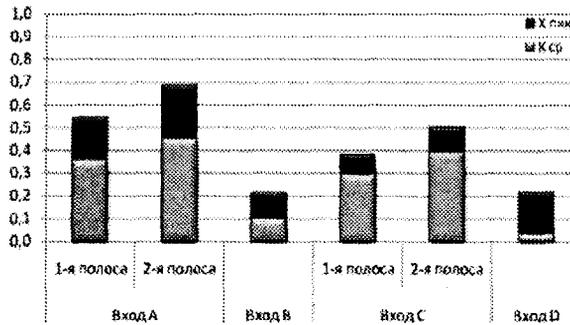


Рис. 10. Загрузка полос движением на входах

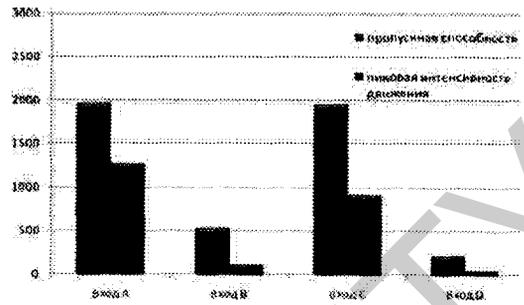


Рис. 11. Пропускная способность исследуемого объекта

В процессе исследований выполнен экономический анализ потерь. Затем был проведен экономический анализ предлагаемых вариантов организации дорожного движения: введение све-

тофорного регулирования и устройство искусственной неровности в зоне нерегулируемого пешеходного перехода (табл. 2 и рис. 12).

Табл. 2. Результаты сопоставления потерь по вариантам предлагаемых решений

Наименование вида потерь, тыс. у. е./г.	Существующая ОДД	Предлагаемый вариант		
		Светофорное регулирование	Светофорное регулирование с координацией	Установка искусственной неровности
Аварийные $P_a$	7,9	3,5	3,8	5,7
Экологические $P_{экл}$	19,4	18,5	11,115	41,8
Экономические $P_{эки}$	64,7	74,1	44,46	104,5
Суммарные $P_{\Sigma}$	92,0	96,1	59,4	152,0

На основании диаграммы потерь по предлагаемым мероприятиям можно сделать вывод, что наиболее целесообразным вариантом является введение светофорного регулирования. Несмотря на некоторый рост экономических потерь, уровень безопасности на данном объекте повысится, и аварийные потери снизятся более чем на 50%. В результате исследований и анализа существующих условий дорожного движения на нерегулируемом перекрестке ул. Я. Коласа – пер. Я. Коласа выявлено, что суммарные потери в дорожном движении на участке составляют около 92,0 тыс. у. е./г., в том числе потери от аварийности –

7,9 тыс. у. е./г. На перекрестке рекомендуется введение светофорного регулирования, которое повышает безопасность пешеходов при осуществлении перехода проезжей части и обеспечивает возможность координированного движения по ул. Я. Коласа. Реализация разработанных мероприятий позволит снизить уровень аварийных потерь на пешеходном переходе ориентировочно на 4,4 тыс. у. е./г. с уменьшением числа аварий на 50...55%. Строительство светофорного объекта позволит повысить безопасность движения на данном участке ул. Я. Коласа практически без увеличения потерь в дорожном движении,

а в случае введения объекта в координацию и ее правильного функциониро-

вания потери снижаются более чем в 2 раза.

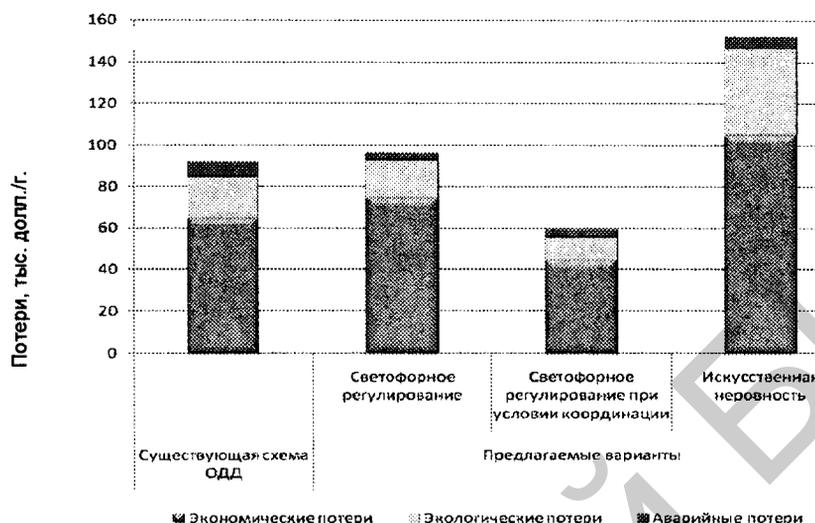


Рис. 12. Потери в дорожном движении по вариантам предлагаемых решений

### Выводы

Таким образом, проведенные исследования позволили разработать практические предложения по повышению безопасности дорожного движения, которые можно сформулировать следующим образом.

Разработана методика расчета экономических потерь на искусственных неровностях, отличающаяся учетом потерь от остановок и задержек транспорта, учетом влияния находящегося в непосредственной близости нерегулируемого пешеходного перехода, возможностью расчета потерь как при нормальной транспортно-пешеходной нагрузке, так и при перегрузке, позволяющей оценить потери еще на стадии принятия решений или разработки мероприятий. Применение разработанной методики позволило повысить точность расчета экономических издержек транспорта.

Разработана расчетная модель взаимодействия транспортных и пешеходных потоков в псевдорегулируемом

режиме на искусственных неровностях, отличающихся использованием новой модели движения пешеходов и транспорта, учетом интервалов в пешеходном и транспортном потоке при движении через искусственную неровность, установленную в зоне пешеходного перехода.

Применение искусственных неровностей на улицах с интенсивностью более 200 авт./ч приводит к возрастанию суммарных потерь в дорожном движении за счет преобладающего роста экономических и экологических потерь, связанных с торможением перед искусственной неровностью и последующим разгоном. Необходимо отметить, что применение искусственных неровностей приводит к экономическим и экологическим потерям круглосуточно, независимо от наличия участников движения (пешеходов, велосипедистов и т. п.), для защиты которых они же и предназначены. На таких участках применение светофорного регулирования вместо искусственных неровностей является экономически обоснованным ме-

роприятием с малым сроком окупаемости (менее 1 мес.), несмотря на существенные капитальные затраты, связанные с сооружением светофорного объекта (около 20 тыс. у. е.).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **СТБ 1538-2005.** Искусственные неровности на автомобильных дорогах и улицах. Технические требования и правила применения. – Минск : БелборНИИ, 2005. – 11 с.
2. **Врубель, Ю. А.** Водителю о дорожном движении / Ю. А. Врубель, Д. В. Капский. – 3-е изд., перераб. и доп. – Минск : БНТУ, 2010. – 139 с.
3. **Врубель, Ю. А.** Определение потерь в дорожном движении / Ю. А. Врубель, Д. В. Капский, Е. Н. Кот. – Минск : БНТУ, 2006. – 252 с.
4. **Врубель, Ю. А.** Потери в дорожном движении / Ю. А. Врубель. – Минск : БНТУ, 2003. – 328 с.
5. Правила дорожного движения. – Минск : Тонпик, 2009. – 79 с.

6. Технические средства организации дорожного движения. Правила применения. – Минск : Белорус. дорожный инж.-техн. центр, 2007. – 132 с.

7. **СНБ 3.03.02-97.** Улицы и дороги городов, поселков и сельских населенных пунктов. – Минск, 1997. – 125 с.

8. **Капский, Д. В.** Прогнозирование аварийности в дорожном движении / Д. В. Капский. – Минск : БНТУ, 2008. – 243 с.

9. **Tepley, S.** Second Edition of the Canadian Capacity Guide for Signalized Intersection / S. Tepley, D. Allingham // Institute of Transportation Engineers. – Canada, 1995. – 115 p.

10. **Коржова, А. В.** Применение методов сдерживания скорости в крупных городах / А. В. Коржова, Д. В. Капский // The 6th International conference reliability and statistics in transportation and communication. – Riga (Latvia), 2006. – S. 15–17.

11. **Коржова, А. В.** Повышение безопасности дорожного движения в городах с помощью применения искусственных неровностей в зоне пешеходных переходов / А. В. Коржова, И. И. Леонович // Автомобильные дороги и мосты. – 2007. – № 1. – С. 16.

Белорусский национальный технический университет  
Материал поступил 18.11.2010

**G. M. Kukharenek, D. V. Kapsky,  
B. U. Busel**  
**The application of artificial irregularities  
for raising traffic safety**

The results of the research into the possibility of application of artificial irregularities on streets network of cities are given. The procedure of calculating the economic losses on road bumps is developed, which allows estimating losses in the zone of a pedestrian crossing equipped with a road bump. The example and expediency of realization of other decisions, rather than road bumps, are shown. Recommendations concerning the application of road bumps on roads and streets of settlements in the Republic of Belarus are presented.