

## УПРАВЛЕНИЕ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ИНФОРМАТИКА

УДК 656.13

Д. В. Капский, кандидат технических наук, доцент, Белорусский национальный технический университет, филиал БНТУ «Научно-исследовательская часть», Минск

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ИСКУССТВЕННЫХ НЕРОВНОСТЕЙ В ЗОНЕ НЕРЕГУЛИРУЕМЫХ ПЕШЕХОДНЫХ ПЕРЕХОДОВ

Экономические потери связаны с неизбежными задержками (снижением скорости в сравнении с нормативной), остановками и перепробегом транспорта, задержками пассажиров и пешеходов, перерасходом топлива, износом или повреждением транспортных средств из-за некачественных условий движения и т. д. Сюда же относятся потери прибыли участниками движения и потери в смежных отраслях из-за невыполнения принятых обязательств, например, из-за опозданий или поломок в дороге и т. п. Процесс проезда искусственной неровности [1] 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). Отличие заключается в том, что при остановке скорость на очень короткое время падает до 0, а при проезде неровности – до 10-20 км/ч. Однако при проезде через неровность значительно увеличиваются нагрузки (а следовательно, и износ) на подвеску, несущие конструкции и трансмиссию автомобиля, а также нагрузка на водителя и пассажиров.

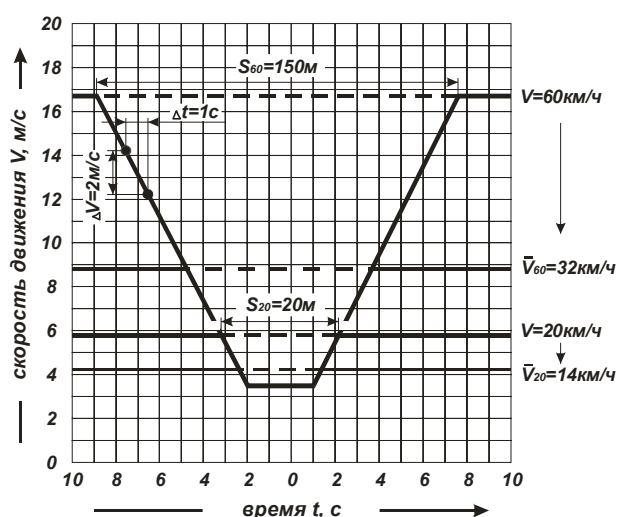


Рис. 1. Скорость движения в зоне установки искусственной неровности

Проведенное имитационное моделирование показало, что темп накопления усталостных повреждений

при проезде на скорости 12 км/ч через единичную искусственную неровность составляет  $206,4 \times 10^6$ , в связи с чем коэффициент форсирования по выработке ресурса по сравнению с движением по дороге без искусственной неровности равен 6 (рис. 2)

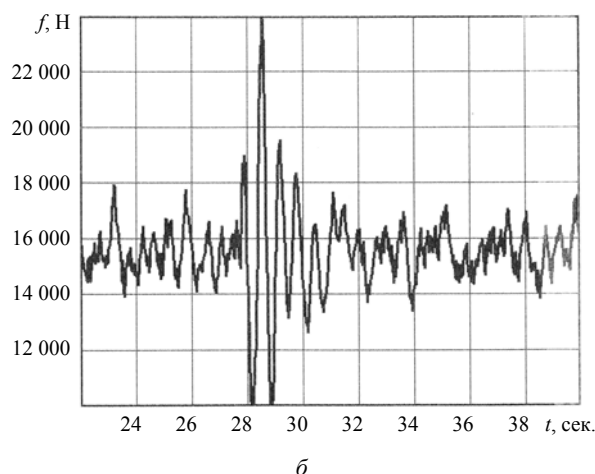
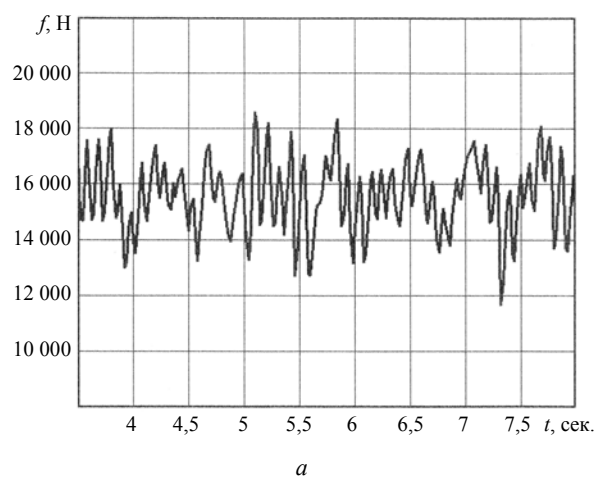


Рис. 2. Результаты моделирования действующих нагрузок при движении автомобиля по дороге без искусственной неровности (а) и с искусственной неровностью (б)

Установка искусственной неровности, как оказалось, на 1 руб. снижения социально-экономических потерь от аварийности (т. е. уже с учетом социальной составляющей) вызывает увеличение точно та-

ких же экологических и экономических потерь от 20 до 120 руб. Поэтому принято допущение, что основные издержки при проезде искусственной неровности определяются как одна остановка транспортного средства с разрешенной скорости движения.

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 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, 3, 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, а именно 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 [6]. 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 нерегули-

руемого режима моделью 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 [7, 8], 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 сек., 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 одного часа число приемлемых интервалов и суммарное время, запрещенное и разрешенное для движения второстепенных участников. В результате, разделив общее время, скажем, один час, 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.

На рис. 3 показана схема перехода от модели расчета задержек и остановок транспорта для нерегулируемого режима к модели расчета для псевдорегулируемого режима.

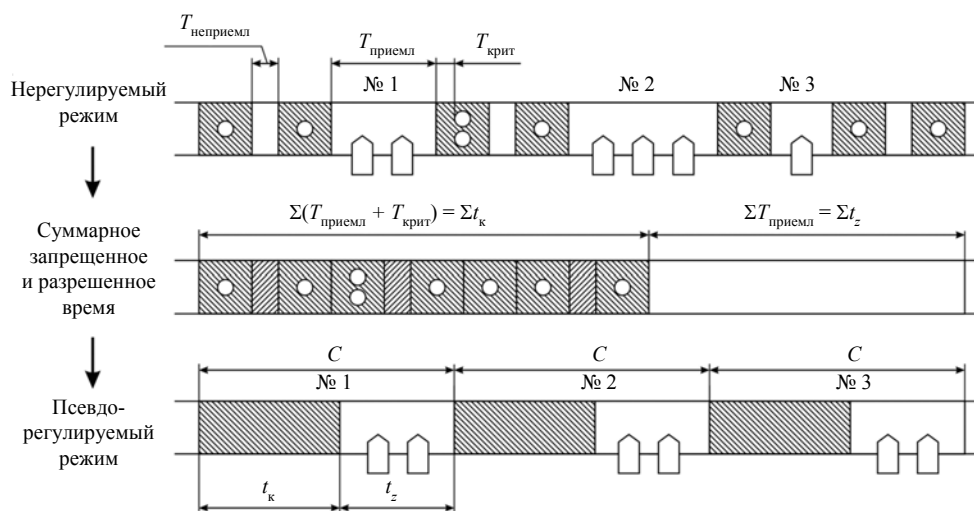


Рис. 3. Схема перехода от модели расчета задержек и остановок для нерегулируемого режима к модели расчета для псевдорегулируемого режима:  $T_{\text{приемл}}$  – достаточный (приемлемый) интервал;  $T_{\text{неприемл}}$  – интервал, меньший минимального приемлемого;  $T_{\text{крит}}$  – критический интервал

По результатам расчетов были построены графики зависимости удельной задержки и удельной дополнительной остановки автомобилей для соотношения интенсивности движения пешеходов от 50 чел/ч до 1000 чел/ч и приведенной (по динами-

ческому коэффициенту приведения  $K_{\text{пн}}$ ) интенсивности движения транспорта от 50 ед/ч до 1000 ед/ч.

Минимальный приемлемый интервал в пешеходном потоке  $T_p$ , сек.:

$$T_p = 1,15b_{пеш}K_{ун}\sqrt{K_{мн2}}1,05^{0,1(V_2-60)},$$

где  $K_{ун}$  – коэффициент условий;  $K_{мн2}$  – 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,  $T_p$ , в пешеходном потоке подчиняется экспоненциальному закону

$$P_{(t)} = e^{-q^*T_p},$$

где  $q^*$  – расчетная интенсивность движения пешеходов, равная интенсивности движения условных рядов пешеходов, чел/сек.;  $T_p$  – исследуемый интервал движения, сек. При определении  $q^*$  использовался закон распределения Пуассона пешеходов в пешеходном потоке в интервале 2 сек. (один ряд) по всей ширине пешеходного перехода, принятой равной 5 м, т. е. до 5 пешеходов в ряд ( $N = 5$ ):

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

где  $T$  – интервал в пешеходном потоке, в котором находящиеся пешеходы образуют неразрывный «ряд пешеходов». Принято:  $T = 2$  сек.;  $q_p$  – интенсивность движения пешеходов (физическая), чел/сек.;  $n$  – число пешеходов в ряду. Принято:  $n = 1,2,3,4,5$ . Расчет удельных задержек транспорта  $e_t$ , сек/авт., производился для отдельной полосы по упрощенной формуле Вебстера [9, 10]:

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

где  $C$  – продолжительность условного цикла регулирования, сек.;  $\lambda$  – доля зеленого сигнала в цикле;  $x$  – коэффициент загрузки полосы движением;  $q$  – интенсивность движения на полосе, авт/сек. В случаях перегрузки, когда  $x > 0,93$ , расчет удельных задержек производился по формуле Брилона и Ву. В случаях перегрузки, когда  $x > 0,93$ , расчет удельных дополнительных остановок осуществляется по формуле

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

где  $N_0$  – средняя длина очереди перед стоп-линией за период существования перегрузки, авт. Поскольку в области высоких нагрузок ( $x > 0,93$ ) значения  $e'_0$  имеют разрывы функции, то в этой области также было проведено графоаналитическое сглаживание, и зависимости приобрели вид, приведенный на рис. 4.

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

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

где  $N_0$  – средняя длина очереди перед стоп-линией за период существования перегрузки, определяется по формуле Брилона и Ву, авт.

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. 5.

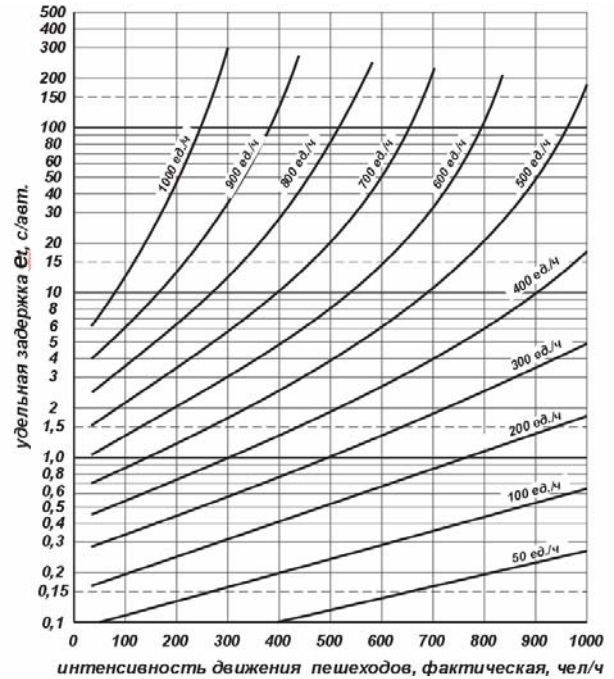


Рис. 4. График для определения удельной задержки при наличии пешеходного перехода

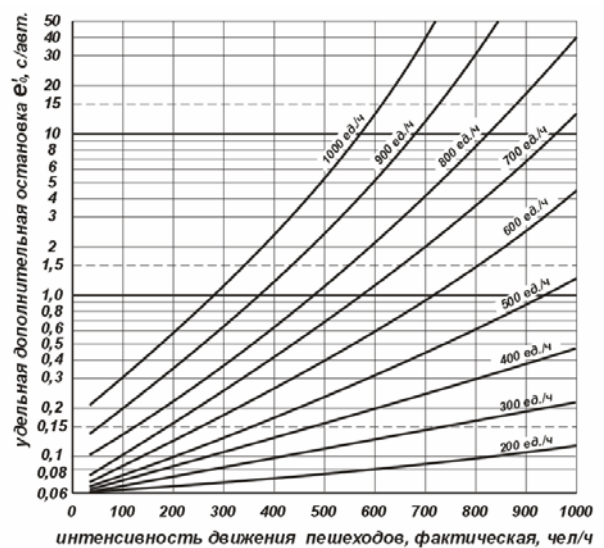


Рис. 5. График для определения удельных дополнительных остановок при наличии пешеходного перехода

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. 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  $e_i$  и удельной дополнительной остановки  $e'_0$  по двум методикам.

Установлено, что в области низких нагрузок результаты сопоставимы, в области средних нагрузок модель псевдорегулируемого 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 регулируемы. 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 [11].

При малых нагрузках она имеет примерно одинаковую аварийную эффективность со светофорным регулированием, но значительно уступает ему (особенно при координации) по экономике и экологии (от 5 до 10 и более раз). Установка искусственных неровностей увеличивает экономические потери от 2,5 тыс. долл на дворовых территориях до 550 тыс. долл на магистральных улицах (ул. Столетова). Каждая искусственная неровность обходится (в данном случае в г. Минске) в среднем, примерно, по 100 тыс. долл/год, в то время как светофор, особенно при координации, – менее 20 тыс. долл/год.

Искусственная неровность может применяться на участках концентрации аварий, основной причиной которых является доказанное в установленном порядке превышение скорости движения в местах, где согласно законодательству скорость движения ограничена до 20 км/ч – пешеходные и жилые зоны, а также приравненные к ним дворовые территории. В виде исключения – на местных улицах с суммарной интенсивностью движения менее 120 авт/ч в обоих направлениях, например, на спуске перед школой. 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. Данные изменения, пусть пока и частично, учтены в технических нормативных правовых актах [12–14]. Методика определения экономических потерь на искусственных неровностях реализована с помощью компьютерной программы [15], которая зарегистрирована в Национальном центре интеллектуальной собственности Республики Беларусь и используется всеми организациями дорожного комплекса [16].

#### Библиографические ссылки

1. Врубель Ю. А., Капский Д. В., Кот. Е. Н. Определение потерь в дорожном движении. – Минск : БНТУ, 2006. – 252 с.
2. Врубель Ю. А., Капский Д. В. Водителю о дорожном движении. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – Минск : БНТУ, 2010. – 139 с.
3. Врубель Ю. А. Потери в дорожном движении. – Минск : БНТУ, 2003. – 328 с.
4. Капский Д. В. Разработка методики определения экологических потерь в дорожном движении // Безпека дорожнього руху України. – 2006. – № 1–2. – С. 99–103.
5. Правила дорожного движения. – Минск : Тонпик, 2013. – 82 с.
6. Капский Д. В. Прогнозирование аварийности в дорожном движении : монография. – Минск : БНТУ, 2008. – 243 с.
7. Врубель Ю. А., Капский Д. В. Указ. соч.
8. Врубель Ю. А. Указ. соч.
9. Врубель Ю. А., Капский Д. В., Кот. Е. Н. Указ. соч.
10. Врубель Ю. А. Указ. соч.
11. Капский Д. В. Развитие методологии повышения безопасности дорожного движения в городских очагах аварийности // Автомобильный транспорт Дальнего Востока : материалы Шестой Междунар. науч.-практ. конф. (Хабаровск, 13–16 сент. 2012 г.) / Тихоокеан. гос. ун-т ; под общ. ред. А. В. Фейгена. – Хабаровск, 2012. – С. 127–138.
12. Технические средства организации дорожного движения. Искусственные неровности. Общие технические условия = Тэхнічныя сродкі арганізацыі дарожнага руху. Штучныя няроўнасці. Агульныя тэхнічныя ўмовы: СТБ 1538-2013. – Введ. 27.11.2013. – Минск : Беларус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2013. – 16 с.
13. Технические средства организации дорожного движения. Правила применения = Тэхнічныя сродкі арганізацыі дарожнага руху. Правілы прымянення : СТБ 1300-2014. – Введ. 01.09.2014. – Минск : Госстандарт : Беларус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2014. – 137 с.
14. Улицы населенных пунктов. Строительные нормы проектирования = Вуліцы населеных пунктаў. Будаўнічыя нормы праектавання : ТКП 45-3.03-227-2010 (02250). – Введ. 01.07.2011. – Минск : М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2011. – 46 с.
15. HumpLIRT : свидетельство о регистрации компьютерной программы № 183 / Д. В. Капский. – № C20100057 ; заявл. 08.06.2010 ; опубл. 11.06.2010 / Нац. центр интеллектуальной собственности.
16. Методика оценки эффективности внедрения мероприятий по организации дорожного движения : ДМД 02191.3.020-2009. – Введ. 01.11.2009. – Минск : ОНТИ РДУП «Белорусский дорожный научно-исследовательский институт «БелдорНИИ», 2009. – 40 с.