



Министерство образования  
Республики Беларусь

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

---

Ю.А. ВРУБЕЛЬ  
Д.В. КАПСКИЙ  
Е.Н. КОТ

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ В ДОРОЖНОМ ДВИЖЕНИИ

Минск 2006

Ю.А. ВРУБЕЛЬ  
Д.В. КАПСКИЙ  
Е.Н. КОТ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ  
В ДОРОЖНОМ ДВИЖЕНИИ

Монография

Минск БНТУ 2006

Рекомендовано научно-техническим  
советом БНТУ

**Врубель, Ю.А.**

Определение потерь в дорожном движении: монография / Ю.А. Врубель, Д.В. Капский, Е.Н. Кот. – Мн.: БНТУ, 2006. – 240 с.

ISBN 985-479-493-8.

В монографии дается понятие о качестве дорожного движения и о потерях в дорожном движении. Приводятся методики расчета потерь для типовых ситуаций на типовых объектах улично-дорожной сети.

Табл. 22. Ил. 32. Библиогр.: 82 назв.

**Р е ц е н з е н т ы :**

д-р. техн. наук, профессор  
*Кухаренок Георгий Михайлович,*  
д-р. техн. наук, профессор  
*Леонович Иван Иосифович,*  
канд. техн. наук, профессор  
*Сушко Анатолий Анатольевич*

ISBN 985-479-493-8

© Врубель Ю.А., Капский Д.В.,  
Кот Е.Н., 2006  
© БНТУ, 2006

## Введение

В системе дорожного транспорта, в которой осуществляется около 2/3 всего объема транспортного обслуживания, в той или иной форме работает до 8–10 % трудоспособного населения. В подсистеме дорожного движения, завершающей систему дорожного транспорта, каждый человек, в среднем, ежедневно находится около одного часа, т.е. до 7 % своего активного времени. Таким образом, дорожный транспорт и входящее в него дорожное движение являются одной из важнейших систем жизнеобеспечения современного общества [9].

Из-за гигантских масштабов и других особенностей дорожного движения даже незначительные недостатки в его работе приводят к огромным потерям в экономической, экологической, аварийной и социальной областях. А поскольку сегодняшние недостатки в работе дорожного движения никак нельзя назвать незначительными, то потери столь велики, что они значительно сказываются на уровне развития государства и благосостоянии населения. Причина этих потерь заключается в исторически сложившемся ошибочном отношении к организации дорожного движения – до сих пор еще считается, что это узкоспециальная, чисто техническая деятельность, с которой, как с дополнительной нагрузкой, может справиться любое ведомство. Оказалось, однако, что это совершенно не так и организация дорожного движения – это весьма ответственная, сложная и "тонкая" деятельность, причем одновременно в нескольких областях – организационной, технической, экономической и социальной.

Сложилось так, что в дорожном движении отсутствуют объективные оценочные критерии качества, т.е. невозможно объективно установить, что хорошо, а что – плохо, какое решение лучше, а какое – хуже, насколько и почему. В результате, управление громадной социально–производственной системой осуществляется по старинке, "на глазок" и никто не считает потерь. Более того, толком неизвестно, что и как нужно считать, по чем следует оценивать качество работы системы, к чему надо стремиться.

Сегодня оценка качества дорожного движения производится лишь по числу аварий с пострадавшими, которые составляют менее 20% от общего числа аварий. Правда, потери от этих аварий

составляют около 65% от общих потерь от аварийности. Поскольку суммарные потери от аварийности составляют всего лишь от 5 до 10% общих потерь в дорожном движении, то *при сегодняшней оценке качества учитываются лишь от 4 до 9 % суммарных потерь, при полном игнорировании экономических, экологических, социальных и даже части аварийных потерь*. Ясно, что такое положение является ненормальным и требует улучшения.

В самое последнее время (2006г.) в Республике Беларусь сделан очень серьезный шаг по исправлению создавшегося положения. В утвержденной [45] Концепции обеспечения безопасности дорожного движения установлено, что *идеология управления дорожным движением базируется на учете и минимизации всех видов потерь при соблюдении прав и свобод человека...* Сделан первый и очень важный шаг в этом направлении. Имеется все основания надеяться, что вслед за провозглашением этой идеи последуют конкретные шаги по ее реализации. Данная работа как раз и направлена на создание необходимых условий для реализации провозглашенной идеологии.

В БНТУ разработана и совершенствуется методика оценки качества дорожного движения на заданном участке улично-дорожной сети, в которой учитываются экономические, экологические и аварийные потери (социальные потери, к сожалению, из-за отсутствия надежных методик и проверенных расчетных формул, пока не учитываются). Эта методика основана на подсчете, суммировании и сопоставлении потерь на заданном участке УДС для любого варианта организации движения. Она позволяет дать количественную оценку (в деньгах) и, следовательно, оптимизировать любые решения по организации дорожного движения.

## Обозначения

Приняты следующие основные обозначения, если нет иных пояснений в тексте.

### *Индексы для значений переменной X*

$\overline{X}$  – математическое ожидание распределения

$X^{\circ}$  – относительное, нормированное

$X^*$  – расчетное значение

$X_{\min}, X_{\max}$  – максимальный

$X_{\min}$  – минимальный

$X_1$  – главный

$X_2$  – второстепенный

$X_{12}$  – левоповоротный

$X_{13}$  – транзитный

$X_{14}$  – правоповоротный

$X_{11}$  – разворотный

$X_t$  – по времени

$X_s$  – по пути

$X_{\Sigma}$  – суммарный

$X_{\delta}$  – бензиновый

$X_{\partial}$  – дизельный

$X_{пов}$  – поворотный

$X_{трз}$  – транзитный

### *Греческий алфавит*

$\alpha$  – угол наклона проезжей части (как правило, град.)

$\beta$	– доля работы СФО «Выбор» в регулируемом режиме (п. 3.1.5.4.)
$\Delta$	– доля, разность:
$\Delta A$	– снижение числа аварий (в долях единицы – табл. 3.6)
$\Delta \delta$	– доля в потоке ТС с бензиновыми двигателями
$\Delta \delta$	– доля в потоке ТС с дизельными двигателями
$\Delta O$	– доля общественного пассажирского транспорта в ТП
$\Delta_{пов}$	– доля поворотного транспорта на полосе
$\Delta S$	– отнесение стоп-линии, м
$\Delta t$	– останавливающий сдвиг на 2-й линии, с
$\Delta_{эл}$	– доля электротранспорта в ТП
$\Delta Z$	– годовая экономия от внедрения мероприятия, у.е./год
$\lambda$	– доля ЗС в цикле
$\lambda_n$	– доля ЗС для пешеходов в цикле
$\rho$	– плотность ТП, а/км
$\sigma$	– среднее квадратическое отклонение распределения:
$\sigma_v$	– скорости движения
$\sigma_{\rho}$	– интенсивности движения
$\sigma_a$	– ускорений (шум ускорения)
$\Phi$	– коэффициент сцепления колеса с дорогой
$\Sigma$	– сумма, суммарный
$\theta$	– оценка качества ДД

### *Латинский и русский алфавит*

$A, B, C, D, E_1, E_2, F$	– уровни обслуживания (по Д. Дрю – табл. 3)
$B$	– ширина полосы движения, м
$b$	– ширина пешеходного перехода, м
$B_{\gamma}$	– ширина улицы в красных линиях, м
$C$	– светофорный цикл, стоимость:
$C_a$	– стоимость аварии, у.е./А (табл. 6)
$C_{\alpha}$	– стоимость 1 человеко-часа, у.е./час

- $C_d$  – стоимость 1 часа задержки приведенного автомобиля у.е./час
- $C_F$  – стоимость 1 литра топлива, у.е./час
- $C_{ню}$  – стоимость потерь в народном хозяйстве от 1 кг произведенных выбросов, у.е./кг
- $C_{mi}$  – стоимость потерь от воздействия на человека в течение часа вредных выбросов такой концентрации, которая эквивалентна удельному объему выбросов ( $Mi$ ), у.е./чел
- $C_{max}$  – максимальная продолжительность СФЦ, с
- $C_{min}$  – минимальная продолжительность СФЦ, с
- $C_o$  – стоимость 1-й остановки, у.е./ост
- $C_s$  – стоимость 1 км перепробега, у.е./км
- $C_{sn}$  – стоимость 1 км перепрохода, у.е./км
- $K_L$  – коэффициент удельных потерь ВВП (национального дохода) от шума
- $d$  – поправки при расчете уровня шума, дБА (табл. 3.4)
- $d_\alpha$  – на продольный уклон
- $d_n$  – на отношение ширины улицы к сумме высот застройки
- $d_\pm$  – на озеленение
- $d_{нч}$  – на тип проезжей части
- $d_{эк}$  – на экранирование
- $d_{iv}$  – на дисперсию скорости
- $d_r$  – на расстояние до источника шума
- $d_t$  – на средний возраст ТС
- $\sum d_\gamma$  – сумма поправок при эталонных условиях
- $\sum d_\phi$  – сумма поправок при фактических условиях
- $d$  – удельная задержка автомобиля, с/а
- $d_n$  – удельная задержка пешеходов, с/чел.
- $d_{t_{2min}(max)}$  – удельная задержка при состоянии  $t_{2min}(max)$  при адаптивном регулировании, с/а
- $e$  – основание натурального логарифма

$e_x$	– удельные издержки:
$e_F$	– перерасход топлива, л/100км
$e_o$	– остановки, ост/а
$e_{oo}$	– остановки при перегрузке, ост/а
$e_{os}$	– остановки на 1 м отнесения стоп–линии, ост/а. м
$e_s$	– перепробег, км/а
$e_{sm}$	– перепроход, км/чел
$e_t$	– задержка ( $d$ ), с/а
$E$	– издержки движения
$E$	– коэффициент экономической эффективности (капитальных вложений)
$E_n$	– нормативный коэффициент эффективности (капитальных вложений)
$F_v$	– расход топлива на скорости $V$ , л/100км
$F_o$	– минимальный расход топлива, л/100км
$\Phi_s$	– годовой фонд времени, час/год
$G_v$	– градиент скорости ( $G_v = \frac{\sigma a}{V}$ ), 1/с
$H$	– суммарная высота застройки (с обеих сторон), м
$h$	– высота неровностей на ПЧ, мм
$H_t$	– коэффициент возраста ТС
$I$	– коэффициент вариации распределения ( $I = \frac{\sigma x}{X}$ ):
$I_v$	– скорости
$I_Q$	– интенсивности
$i$	– число (полос движения, полос зеленых насаждений...):
$i_n$	– число полос движения перед пешеходным переходом
$j$	– порядковый номер полосы движения
$K_2$	– капитальные вложения, необходимые для внедрения сопоставляемого варианта решения, у.е.
$K$	– коэффициент:
$K_{ав}$	– аварийности
$K_c$	– социальный

$K_{доc}$	– доступности (полосы перед пешеходным переходом)
$K_{FG}$	– зависимости расхода топлива от градиента скорости (уровня обслуживания – табл. 3);
$K_{FV}$	– зависимости расхода топлива от скорости (рис. 2)
$K_{iv}$	– зависимости выбросов в атмосферу от дисперсии скорости
$K_{mv}$	– зависимости выбросов в атмосферу от скорости движения потока (рис. 4)
$K_o$	– приращения очереди
$K_{oc}$	– снижения очереди
$K_{nc}$	– приведения ТП, габаритный
$K_{нН}$	– приведения ТП, динамический
$K_{нэ}$	– приведения ТП, экономический
$K_{np}$	– приоритета
$K_{sv}$	– изменения стоимости перепробега от скорости
$K_i$	– приращения выбросов от возраста ТС
$K_{yn}$	– условий для потока насыщения (табл. 2)
$K_{z1}$	– защищенности водителей и пассажиров
$K_{z2}$	– защищенности пешеходов
$K_{z3}$	– защищенности жителей прилегающих зданий
$L$	– уровень транспортного шума, дБА:
$L_o$	– производимый уровень шума
$L_i$	– приведенный (к потребителю) уровень шума
$L_э$	– в эталонных условиях
$L_{ф}$	– в фактических условиях
$l_{отп}$	– отнесение пешеходного перехода от правой кромки ПЧ, м
$m$	– базовое значение суммарных приведенных выбросов легкового автомобиля, кг/км
$M_o$	– удельный объем произведенных выбросов, кг/км
$M_i$	– удельный объем приведенных (к потребителю) выбросов, кг/км
млгпос	– типы ТС при определении коэф. приведения состава ТП
$N$	– число:
$N_1$	– удельное число водителей и пассажиров, подвергающихся экологическому воздействию на заданном участке в течение часа, чел/км

$N_2$	– удельное число пешеходов, подвергшихся экологическому воздействию на заданном участке в течение часа, чел/км
$N_3$	– удельное число жителей прилегающих зданий, подвергшихся экологическому воздействию на заданном участке в течение часа, чел/км
$N_{ок}$	– удельное число окон прилегающих зданий, выходящих на исследуемую улицу, ок/км
$N_0$	– средняя длина очереди перед стоп–линией в течение пикового периода, авт
$n$	– число:
$n_{a1}$	– число аварий в год при существующих условиях, ав/год
$n_{a2}$	– прогнозируемое число аварий, ав/год
$n_e$	– емкость полосы перед пешеходным переходом, авт
$n_0$	– число остановленных ТС, авт
$n_{эт}$	– число этажей прилегающих зданий
$P(x), P_x$	– вероятность события $X$
$\Pi$	– потери в ДД, у.е./год:
$\Pi_m$	– экологические потери от выбросов
$\Pi_L$	– экологические потери от шума
$\Pi_d$	– потери от задержек транспорта
$\Pi_{dn}$	– потери от задержек пешеходов
$\Pi_F$	– потери от перерасхода топлива
$\Pi_0$	– потери от остановок транспорта
$\Pi_S$	– потери от перепробега
$\Pi_{Sn}$	– потери от перепрохода пешеходов
$\Pi_a$	– потери от аварийности
$Q, q$	– интенсивность движения, а/ч, а/с
$Q_n, q_n$	– интенсивность движения пешеходов, чел/час, чел/с
$Q_n, q_n$	– поток насыщения, а/ч, а/с
$Q_c, q_c$	– пропускная способность, а/ч, а/с
$q_o$	– ИД остановившихся ТС, а/с
$q_F$	– ИД «быстрых» ТС (при обгоне и смене полосы), а/с
$q_s$	– ИД «медленных» ТС, а/с

$R$	– радиус (траектории), м
$R_o$	– радиус центрального островка, м
$r$	– расстояние (при определении экологических потерь), м
$S, s$	– расстояние, км, м
$s_{H}, s_{\phi}$	– нормативное и фактическое расстояние от стоп-линии до границы пересекаемой проезжей части, м (п. 3.1.1.2.1.8.)
$s_o$	– расстояние от стоп-линии до наиболее удаленной КФТ, м
$S_0$	– протяженность участка перегрузки, км (п. 3.1.1.3.7.)
$T$	– время, интервал времени, приемлемый интервал в ТП, с
$T_0$	– продолжительность пикового периода, час
$T_{ок}$	– срок окупаемости, лет
$T_{окн}$	– нормативный срок окупаемости, лет
$T_l$	– продолжительность существования перегрузки, час
$T_n$	– приемлемый интервал в пешеходном потоке, с
$T_{min}$	– минимальный расчетный интервал в ТП при адаптивном регулировании, с
$t$	– время
$\bar{t}$	– средний возраст ТС, лет (п. 3.2.1.1.)
$t_k$	– продолжительность горения КС, с
$t_z$	– продолжительность горения ЗС, с
$t_{жс}$	– продолжительность горения ЖС, с
$t_{np}$	– продолжительность переходного интервала, с
$t_s$	– номинальный сдвиг на 2-й стоп-линии, с
$t_n$	– время, занимаемое пешеходами обоих направлений на преодоление одной полосы движения, с (п. 3.1.1.3.1.3.)
$V$	– скорость движения, км/ч
$\bar{V}$	– математическое ожидание распределения СД, км/ч
$v$	– скорость движения, м/с
$\bar{v}$	– математическое ожидание распределения СД, м/с
$V_1$	– СД главного конфликтующего потока, км/ч
$V_2$	– СД второстепенного конфликтующего потока, км/ч
$V_c$	– скорость сообщения, км/ч
$V_m$	– максимальная СД, км/ч
$V_H$	– нормативная СД, км/ч
$V_o$	– СД на входе в объект, км/ч

$V_{огр}$	– скорость ограничения, км/ч
$V_{пов}$	– скорость поворотных потоков, км/ч
$v_F$	– СД «быстрых» ТС, м/с (при обгоне и смене полосы)
$v_s$	– СД «медленных» ТС, м/с (при обгоне и смене полосы)
$x$	– коэффициент загрузки полосы движением
$x_0$	– значение коэф. $X$ , выше которого будут ожидать перенасыщенные циклы (п. 3.1.1.2.1.);
$Z$	– затраты:
$Z_1$	– суммарные текущие затраты при существующей организации движения, у.е./год
$Z_2$	– суммарные текущие затраты при сопоставляемой организации движения, у.е./год
$\mathcal{E}_2$	– годовой экономический эффект, у.е./год
$w$	– удельный приведенный часовой объем выбросов, кг/км.ч.

### *Сокращения*

ВКП	– второстепенный конфликтующий поток
ГКП	– главный конфликтующий поток
ДД	– дорожное движение
ЗС	– зеленый сигнал
ИД	– интенсивность движения
ПВУ	– пешеходно–вызывное устройство
ПЧ	– проезжая часть
СД	– скорость движения
СФ	– светофор
СФЦ	– светофорный цикл
ТВП	– табло вызова пешеходов
ТП	– транспортный поток
ТС	– транспортное средство
УДС	– улично–дорожная сеть

## Раздел 1

# ПОТЕРИ В ДОРОЖНОМ ДВИЖЕНИИ

### 1.1. ПОНЯТИЕ О ПОТЕРЯХ В ДОРОЖНОМ ДВИЖЕНИИ

Оценка качества (эффективности) дорожного движения сегодня либо не выполняется совсем, либо выполняется формально, по нескольким несогласованным оценочным критериям, что приводит к тяжелым последствиям. В данной работе делается попытка изменить положение и с этой целью в кратком изложении приводится разрабатываемая методика оценки качества дорожного движения. Поскольку в этой методике основным оценочным критерием качества являются потери в дорожном движении, то они рассматриваются более подробно.

Условно процессы в дорожном транспорте можно разделить на два этапа – подготовка к движению и сам процесс движения. На первом этапе происходит создание необходимых предпосылок для движения или необходимой инфраструктуры – строительство и содержание дорог, производство (или приобретение) и обслуживание транспортных средств, создание систем управления, подготовка кадров и т.д. На втором этапе производится перемещение людей и грузов в созданных для этого условиях. Очевидно, что на первом этапе от общества требуются весьма значительные затраты – т.н. затраты в инфраструктуре. Также очевидно, что и на втором этапе неизбежны не менее значительные издержки – т.н. издержки движения: потери времени, расход топлива, износ дорог и транспортных средств, выбросы в атмосферу, аварии и т.д.

Указанные затраты и издержки очень разнообразны и проявляются в самых различных формах, например, стоимость отведенных для дороги земельных участков, выбросы в атмосферу, содержание огромной массы людей, обслуживающих дорожное движение и дорожный транспорт, аварии, закононепослушание участников движения, потерянное время и т.д. Поэтому сопоставление их между собой дается очень трудно и является довольно условным. Тем не менее, всегда существует некая приведенная сумма издержек и затрат,

которая характеризует стоимость транспортного обслуживания или транспортной услуги. Эта стоимость складывается из двух основных составляющих – затрат в инфраструктуре и издержек движения:

$$C = Z + E,$$

где  $C$  – стоимость транспортного обслуживания (транспортной услуги);  
 $Z$  – затраты в инфраструктуре;  
 $E$  – издержки движения.

Все это оценивается в денежных единицах, например, в рублях или условных единицах, либо, как часто принято, в руб/год или у.е./год.

Если исследуемая стоимость близка к минимально возможной, то считается, что система работает оптимально, без потерь. Если же эта стоимость не минимальна, то имеют место *потери*, под которыми понимают превышение исследуемой стоимости над минимально возможной:

$$P = C + C_{min},$$

где  $P$  – потери в исследуемой системе;

$C$  – исследуемая стоимость транспортного обслуживания (транспортной услуги);

$C_{min}$  – минимально возможная стоимость.

Понятие "минимально возможная стоимость" довольно условное и имеет расширенное толкование. Во-первых, все необязательные издержки, например, аварии, считаются потерями, хотя известно, что безаварийного движения, в целом, не бывает. Во-вторых, за базу для сравнения, скажем, скорости сообщения, принимается стандартная разрешенная скорость, например, в населенных пунктах – 60 км/ч, повсеместное достижение которой, как известно, пока нереально. В-третьих, для достижения минимально возможной стоимости необходимо на исследуемом участке или в исследуемой системе собрать во-едино все лучшие мировые достижения в этой области, что также практически нереально. Поэтому минимально возможная стоимость сегодня реально выступает не как эталон, а, скорее, как некий ориентир, к которому необходимо стремиться. В результате, в понятие "*потери*" вкладывается смысл не только того, что мы потеряли, но также и того, что мы *упустили, не воспользовались, не взяли* и т.д.

И еще одно необходимо пояснение. Дорожное движение обслуживает все сферы нашей деятельности, в нем участвуют все население страны, наши дороги, улицы и окружающая среда являются общенародной собственностью и т.д. В силу этих и ряда других очевидных причин стоимость транспортного обслуживания, рассматривается исключительно как общенародная, общегосударственная, общенациональная и т.д., поэтому любая потеря в дорожном транспорте, в любой его подсистеме или на любом участке, независимо от причины, последствий или пострадавших, является потерей общенародной, общегосударственной, общенациональной. В результате, любые потери в дорожном транспорте или дорожном движении, независимо от того, касаются ли они нас непосредственно или нет, знаем ли мы о них или не знаем – это *наши* потери и все мы сильно, а иногда кровно заинтересованы в снижении этих потерь.

Понятие "стоимость транспортного обслуживания" имеет несколько оттенков. В одних случаях, когда речь идет об огромных региональных или национальных системах дорожного транспорта, в это понятие, обычно, вкладывается суммарная стоимость с учетом всех составляющих чрезвычайно сложной и многогранной системы. Такую стоимость можно было бы назвать глобальной,  $C_{гн}$ . В других случаях, например, при исследовании вариантов регулирования на ограниченном участке улично-дорожной сети, в понятие "стоимость" вкладываются лишь издержки движения, а остальные составляющие могут быть просто опущены, поскольку они никак не участвуют в оценке вариантов и принятии решений. Такую стоимость можно было бы назвать стоимостью издержек,  $C_e$ . В третьих случаях речь может идти только о затратах в инфраструктуре, например, разрабатывать ли собственные конструкции светофоров или же закупить их за рубежом. Такую стоимость можно было бы назвать стоимостью затрат в инфраструктуре,  $C_z$ . В большинстве случаев, однако, инженер имеет дело с промежуточными вариантами, когда в понятие "стоимость" включаются лишь сопоставляемые компоненты – чаще всего, это издержки движения и определенные затраты на ограниченное изменение условий движения. Такую стоимость можно было бы назвать сопоставительной,  $C_{сн}$ , или просто  $C$ .

Поскольку потери, по определению, есть производная от стоимости, то их можно квалифицировать аналогично стоимости – глобальные, от

издержек движения и в инфраструктуре. В данной работе исследуются *потери в дорожном движении, под которыми будем понимать социально-экономическую стоимость необязательных, невынужденных издержек в процессе движения.*

Потери от издержек, равно как и сами издержки, можно разделить на четыре вида – экономические, экологические, аварийные и социальные. Все эти виды довольно тесно связаны между собой и иногда бывает трудно провести между ними четкую границу. Поэтому указанное деление, а также приведенные названия следует считать условными или рабочими. Тем не менее, более чем двадцатилетний опыт применения этой классификации показал, что она понятна и довольно удобна в пользовании, особенно при анализе структуры потерь на отдельном участке.

*Экономические потери* в дорожном движении связаны с необязательными задержками (снижением скорости в сравнении с нормативной), остановками и перепробегом транспорта, задержками пассажиров и пешеходов, перерасходом топлива, износом или повреждением транспортного средства 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.д. Экономические потери характеризуются тем, что они почти равномерно распределяются между всеми членами общества и маскируются, сливаясь с действительно неизбежными издержками, в результате к ним привыкают и их как бы не замечают. И напрасно, потому, что по своим масштабам эти потери значительно превышают аварийные и экологические, вместе взятые, и значимо влияют на уровень нашего благосостояния.

*Экологические потери* – это превышающие минимально возможные выбросы вредных веществ в атмосферу, загрязнение воды и почвы, воздействие шума, вибрации и электромагнитных излучений. Основными причинами повышенного уровня экологических потерь являются: перегрузки отдельных участков улично-дорожной сети; повышенный уровень маневрирования интенсивных потоков, включая торможения, остановки и разгоны; вынужденное снижение скорости и движение на неэкономичных режимах; перепробег в любых его проявлениях; неудовлетворительное техническое

состояние транспортных средств и т.д. Даже, казалось бы, такие "полезные" начинания, как понижение установленного предела скорости в населенных пунктах или обязательное включение головного света в дневное время, приводят к повышенному расходу топлива и увеличению экологических (не говоря уже об экономических) потерь, что многократно перечеркивают кажущиеся "выигрыши".

В экологических потерях следует различать произведенный и потребленный вред. Одно дело, когда нагруженная городская магистраль проложена через незаселенную, например, промышленную зону, и совсем другое дело, когда эта же магистраль проходит через густонаселенные жилые районы и вплотную примыкает к жилым зданиям, больницам, детским учреждениям и т.п. Очевидно, при одинаковом произведенном вреде, потребленный вред во втором случае будет несопоставимо большим. Это разделение, хотя и недостаточно, но все же учитывается при определении экологических потерь. Например, стоимость ущерба от одинакового количества выбросов в атмосферу в городе, в целом, оценивается почти в полтора раза выше, чем за городом, а при определении конкретного ущерба от экологического воздействия учитывается число подвергшихся этому воздействию пешеходов и жителей, удаленность застройки и т.д.

Экологические потери характеризуются тем коварным свойством, что их действие отложено во времени на довольно значительный период. В результате, сегодняшнее поколение пожинает плоды экологической деятельности прошлых поколений, а плоды нашей деятельности будут пожинать наши потомки. Опасность заключается в том, что результаты могут оказаться непредсказуемо страшными, к примеру, исчезновение озонового слоя или генетические изменения в самом человеке. Что касается денежного эквивалента, то экологические потери, по сегодняшним оценкам, существенно уступают экономическим, но столь же существенно, превышают аварийные. Напомним, что это по сегодняшним оценкам – завтра, как представляется, значимость экологических потерь существенно возрастет.

Под *аварийными* понимают все потери от аварий любых видов и любой тяжести последствий, а также судебные и иные издержки, связанные с авариями. В аварийных потерях, в отличие от экономических и экологических, ущерб наносится, в первую очередь, отдельным участникам движения – для них именно эти потери в

тысячекратно важнее, чем другие виды потерь. В то же время, отношение общества к аварийным потерям легко определяется по результатам, по уровню аварийности, т.е. по тому, что оно делает для снижения этих (и других) потерь, а не потому, что оно заявляет по этому поводу.

Под *социальными* понимают все потери, связанные с нарушением прав и свобод человека, закононепослушанием и духовным развращением личности. Они могут быть вызваны произволом, недобросовестностью или некомпетентностью властей, неподчинением участников движения установленным нормам, равно как нелепостью или невыполнимостью отдельных положений этих норм; принуждением или подстрекательством к невыполнению нормативов; бесконтрольностью или безнаказанностью отдельных лиц и т.д. Долгое время социальные потери вообще не рассматривались как факт и уж тем более, как потери. Видимо, потребуется определенное время для того, чтобы осознать значимость этих потерь. Причем, не только для дорожного движения, где они, как оказалось, занимают доминирующее положение, но и для других областей нашей жизни.

Все виды потерь являются социально-экономическими и имеют две составляющие – материальную и духовную, или экономическую и социальную. Экономическая составляющая – это та часть потерь, которая имеет однозначный денежный эквивалент, например, стоимость поврежденных машин или грузов при аварии, или оплата листов нетрудоспособности из-за экологических воздействий на человека и т.д.

Социальная составляющая не имеет однозначного денежного эквивалента и характеризует ту часть потерь, которая отражается на полноценности отдельного человека или общества в целом. Это потери, связанные с гибелью человека или утратой здоровья, в том числе и психического, (т.н. «душевная боль»); с состоянием окружающей среды, состоянием общества, воспитанием детей и т.д.

Экономическая оценка этих потерь производится опосредованно, через систему страховых отношений, общественных приоритетов, (нормативов), возмещения морального ущерба и т.д. И хотя эта оценка очень нежесткая и приблизительная, она все же есть и позволяет сопоставить между собой различные виды потерь.

Сопоставление потерь производится по т.н. «приведенным» потерям, включающим в себя обе составляющие – экономическую и социальную:

$$П = П_e + П_c,$$

где  $П$  – приведенные потери данного вида руб./год;

$П_e$  – экономическая составляющая потерь данного вида, руб./год;

$П_c$  – социальная составляющая потерь данного вида, руб./год.

Определение социальной составляющей производится с помощью т.н. «социального коэффициента»,  $K_c$ , показывающего, сколько рублей согласно заплатить (или уже платит) общество, чтобы избежать социально-экономических потерь данного вида на 1 рубль, разумеется, в данное время. По определению:

$$K_c = \frac{П_e + П_c}{П_e} = 1 + \frac{П_c}{П_e}.$$

Приведенные потери данного вида можно определить как произведение экономической составляющей на социальный коэффициент:

$$П = П_e \cdot K_c, \text{ руб./год.}$$

Суммарные приведенные потери на исследуемом участке или в исследуемой системе определяются из выражения:

$$П_{\Sigma} = П_{\text{эkn}} \cdot K_{\text{сээк}} + П_{\text{экл}} \cdot K_{\text{сэкл}} + П_a \cdot K_{\text{ca}} + П_c \cdot K_{\text{cc}}, \text{ руб./год,}$$

где  $П_{\text{эkn}}$  и  $K_{\text{сэkn}}$  – экономическая составляющая и социальный коэффициент экономических потерь, соответственно;

$П_{\text{экл}}$  и  $K_{\text{сэкл}}$  – то же для экологических потерь;

$П_a$  и  $K_{\text{ca}}$  – то же для аварийных потерь;

$П_c$  и  $K_{\text{cc}}$  – то же для социальных потерь.

Очевидно, что в *экономических* потерях социальная составляющая незначительна. Это могут быть потери из-за срыва обязательств (например, опоздание на поезд из-за незапланированного простоя в уличной пробке или из-за перепробега при объезде), потеря части клиентов из-за низких скоростей сообщения и т.д. Поскольку численные значения социальной составляющей в этом виде потерь пока не установлены, то принято допущение, что они несущественны

и социальный коэффициент близок к единице, т.е.  $K_{сэки} \approx 1$ . Учитывая это обстоятельство, можно утверждать, что все виды потерь в дорожном движении приводятся к экономическим.

Экономическая составляющая экологических потерь проявляется в виде затрат на лечение и выплат по листам нетрудоспособности из-за болезней граждан, вызванных загрязнением окружающей среды; затрат на восстановление зеленых и лесных насаждений из-за их болезни или порчи; затрат на восстановление зданий и сооружений из-за кислотных дождей и т.д. Социальная составляющая – это потеря здоровья отдельным гражданином и нацией в целом, разрушение окружающей среды, нарушение экологического равновесия, могущие привести к непредсказуемым последствиям. Данные о величине социального коэффициента экологических потерь неизвестны, однако, по некоторым оценкам, для Республики Беларусь он находится в пределах от 1,5 до 3, т.е.  $K_{сэки} \approx 1,5...3$ .

Экономическая составляющая аварийных потерь – это стоимость повреждений машин и грузов, потеря части национального дохода из-за гибели или ранения людей, расходы на лечение, пенсии, пособия и т.д. Социальная составляющая – это душевная боль из-за гибели или увечья людей, крушения планов и надежд, изменения в худшую сторону привычного образа жизни и т.д. Точные данные о величине социального коэффициента аварийных потерь в Республике Беларусь неизвестны, однако, предварительные исследования показывают, что он, очевидно, находится в пределах от 3 до 10, т.е.  $K_{са} \approx 3...10$ . При этом известно, что чем выше тяжесть последствий, тем выше социальный коэффициент аварийности.

Экономическая составляющая социальных потерь, как представляется, включает экономическую выгоду, полученную незаконным путем (например, выигрыш во времени из-за нарушений нормативов), либо экономический ущерб, нанесенный незаконными или некомпетентными действиями (например, незаконные задержания, штрафы, опоздания маршрутного пассажирского транспорта из-за неорганизованности пассажиров или некомпетентности властей) и т.д. Поскольку эти потери только начинают исследоваться, то каких-либо определенных данных пока не имеется. Сегодня делаются только первые попытки оценить величину приведенных (без разделения

на составляющие) социальных потерь. Уже на основании первых оценок можно утверждать, что приведенная величина социальных потерь – колоссальна, а значения социального коэффициента – чрезвычайно велики. Однако, поскольку социальные потери еще недостаточно изучены, то они, к сожалению, пока не определяются и не суммируются с другими видами потерь. При этом следует отметить, что это делается не по принципиальным соображениям, а по чисто техническим причинам – из-за отсутствия методики и необходимых данных.

Потери в дорожном движении достигают гигантских размеров. По предварительным оценкам, суммарные экономические, экологические и аварийные потери в Республике Беларусь достигают величины порядка 2 млрд. у.е. ежегодно, при соотношении 70:20:10 (социальные потери, по оценкам, примерно равны сумме экономических, экологических и аварийных потерь). Ясно, что при таких масштабах снижение всех видов потерь является общегосударственной, общенациональной проблемой.

## **1.2. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ**

Объективная и достоверная оценка качества дорожного движения является одной из самых насущных, самых трудных и, пожалуй, самых нерешенных задач. Не имея такой оценки, невозможно оптимально управлять дорожным движением, что приводит к огромным потерям. Возрастающая потребность заставляет многих работать над созданием методик оценки качества, работы ведутся широким фронтом [15,17] и можно ожидать, что в скором времени задача будет решена. Ниже будут рассмотрены основные положения методики, разрабатываемой в БНТУ.

Качество дорожного движения – это совокупное свойство, оценивающее степень соответствия дорожного движения своему назначению. Совокупность «качество дорожного движения» включает такие отдельные свойства, как безопасность, экологичность, экономичность, социологичность, надежность, производительность и комфортабельность. Все свойства в совокупности «качество» должны быть сбалансированы, в противном случае организация дорожного движения будет несбалансированной, что приведет к очень большим потерям. Нельзя преувеличивать значимость одного свойства

и преуменьшать значимость другого. Не может быть высокого качества дорожного движения, например, при хорошей безопасности, но плохой экономичности, или наоборот.

Каждое отдельное свойство дорожного движения, также как и всю совокупность «качество» можно оценивать с помощью потерь – тем меньше потери, тем лучше свойство или выше качество. Оценка с помощью потерь, которые, как известно, выражаются в деньгах, очень удобна и наглядна, поскольку позволяет сопоставлять нередко противоречивые свойства дорожного движения не только между собой, но и с затратами на их улучшение.

Очевидно, при оценке качества больших систем должны сопоставляться глобальные стоимости, охватывающие все стороны системы дорожного транспорта. В простейших случаях, при оценке качества вариантов регулирования на отдельном объекте, достаточно сопоставлять только потери от издержек движения. В общем случае, должна рассматриваться т.н. сопоставительная стоимость, включающая потери от издержек движения и затраты на (ограниченное) изменение условий движения:

$$C = P_{\Sigma} + Z \text{ руб./год,}$$

где  $C$  – сопоставительная стоимость;

$P_{\Sigma}$  – суммарные приведенные потери;

$Z$  – приведенные к году затраты на изменение условий движения.

Исследуемый объект разбивается на элементарные участки, представляющие собой либо конфликтные объекты, либо однотипные участки перегонов. В каждой конфликтной точке (или зоне), либо на заданной длине перегона определяются все виды потерь и результаты суммируются. Полученная величина суммарных потерь складывается с приведенными к году затратами в инфраструктуре и определяется сопоставительная стоимость, по которой и производится оценка качества.

Рассматриваются 3 вида оценок: абсолютная –  $\theta$ , относительная –  $\theta_0$  и сравнительная –  $\theta_c$ .

Абсолютная оценка характеризуется величиной сопоставительной стоимости дорожного движения на исследуемом участке:

$$\theta = C, \text{ руб./год.}$$

Относительная оценка характеризует отношение абсолютной оценки к так называемому приведенному объему движения:

$$\theta_o = \frac{\theta}{F(Q_1, Q_2, L)} \text{ х, руб./год,}$$

где  $F(Q_1, Q_2, L)$  – некоторая функция, характеризующая приведенный объем движения. Очевидно, для конфликтных объектов имеют значение только характеристики конфликтующих потоков ( $Q_1, Q_2$ ), а для перегонов – характеристики потоков и длина перегона. Известно несколько подходов к определению, «приведенного» объема движения. Например, для конфликтных объектов применяется выражение  $F(Q_1, Q_2, L) = \sqrt{Q_1 \cdot Q_2}$ ;

для перегонов – выражение  $F(Q_1, Q_2, L) = Q \cdot L$  и т.д.;

размерность функции, характеризующей объем движения, например, автомобили, автомобилекилометры и т.д.

Сравнительная оценка есть частное от деления относительной оценки исследуемого объекта на относительную оценку эталонного объекта, приведенное к привычной, например, десятибалльной системе оценок:

$$\theta_c = \frac{\theta_{oi}}{\theta_{oэт}} \cdot \delta_{10},$$

где  $\theta_{i0}$  – относительная оценка исследуемого объекта;

$\theta_{oэт}$  – относительная оценка эталонного объекта;

$\delta_{10}$  – некоторая константа (в данном случае 10).

Очевидно, можно выбрать такие элементарные объекты, которые по согласованному мнению (по договоренности) могут быть приняты в качестве эталонных. Сравнивая относительные оценки исследуемого и эталонного объектов, легко выполнить сравнительную оценку любого объекта или участка улично-дорожной сети.

Предлагаемая методика позволяет выполнять не только оценку качества дорожного движения в целом, но и основных его компонентов, например, управления движением или дорожных условий.

Чтобы выполнить оценку качества управления, необходимо найти оптимальный вариант регулирования (управления) при заданных дорожных условиях и транспортно-пешеходной нагрузке и сопоставить его оценки с существующими. Чтобы выполнить оценку качества дорожных условий, необходимо оценки оптимального варианта регулирования для этих условий сопоставлять с оценками эталонного участка при заданной транспортно-пешеходной нагрузке.

Таким образом, кратко рассмотрены основные положения разрабатываемой методики оценки качества дорожного движения. Как видно из изложенного, принцип оценки и оценочные критерии чрезвычайно просты – чем меньше потери (сопоставительная стоимость), тем лучше. Сама оценка уже несколько сложнее и включает три вида оценок для трех, как минимум, подсистем. Что же касается определения суммарных потерь, без которых невозможна никакая оценка, то эта задача представляется наиболее трудной. Для этого необходимы автоматизированный сбор, обработка и хранение исходных данных, прогнозирование характеристик и потерь, оптимизация управления и т.д. – что требует значительного интеллектуального потенциала и соответствующей инфраструктуры. А это уже задача не столько техническая, сколько социальная, причем, общенационального масштаба.

Совершенно очевидно, что управление дорожным движением и всей системой дорожного транспорта не может быть основано на ошибочных критериях и осуществляться примитивными методами – это приводит к колоссальным и все возрастающим потерям. И хотя создание совершенных систем управления стоит дорого, оно не только необходимо, но и весьма выгодно, поскольку потери в дорожном движении превышают эти затраты на несколько порядков. Проблема заключается в неосведомленности и безразличии общества к гигантским потерям – поскольку они, как бы, ничейные, то никому до них нет дела. Даже специалисты сегодня не могут сказать о потерях ничего определенного, разве только то, что потери есть и они, очевидно, очень большие.

Оценка качества принимаемых решений является основой любой системы управления. Сегодня в Республике Беларусь делаются первые шаги по созданию объективной методики оценки качества дорожного движения. Сопоставление вариантов в этой методике про-

изводится без учета социальных потерь, весьма приближенно, только по сумме экономических, экологических и аварийных потерь. Тем не менее, даже такая оценка позволяет увидеть ошеломляющую, вопиющую нерациональность принимаемых решений, за которое общество расплачивается колоссальными потерями. Популяризация, внедрение и совершенствование методики позволяет надеяться, что гигантские потери в дорожном движении будут замечены в обществе и проблема их снижения сдвинется с мертвой точки.

## Раздел 2

### ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

#### 2.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Для расчета потерь в ДД необходимо получение целого ряда исходных данных, которые можно подразделить на две основные группы:

- 1 – исходные данные, непосредственно характеризующие исследуемый объект или участок. К ним относятся параметры транспортно-пешеходной нагрузки и характеристики условий движения. Эти данные могут быть либо заданы, либо получены экспериментальным путем.
- 2 – исходные данные, относящиеся к общим характеристикам потерь в ДД. К ним относятся показатели стоимости издержек и элементов управляющих воздействий (мероприятий), зависимости между отдельными параметрами и т.д. Эти данные приведены в методике в виде справочного материала или различных зависимостей. Для их получения и корректировки также необходимо проведение серьезных исследований, однако, описание этих исследований не входит в нашу задачу.

Ниже будут рассматриваться только исходные данные первой группы, получение которых, требует, как правило, проведения экспериментальных или прогнозных исследований.

#### 2.2. ПЕРЕЧЕНЬ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Для выполнения *любых расчетов* потерь необходим масштабный план, из которого можно извлечь исходную информацию о геометрических и некоторых других характеристиках исследуемого объекта. Наиболее подходящим для этих целей является, как правило, план объекта в масштабе 1:500.

Для расчета *экономических потерь* требуются, как правило, следующие основные исходные данные:

$$Q, I_Q, Q_n, I_{Qn}; V, I_V; K_{nn}, K_{nz}; \Delta_{пов}, i, \Phi_{г}.$$

Дополнительно, при расчете **нерегулируемых объектов** требуются:

$$\alpha, \varphi; G_v \text{ или } \gamma O; h, s; K_{np}; V_{опр}, V_H;$$

при **обгоне** или **смене полосы** –  $q_F, q_S; V_F, V_S;$

при **перегрузке** –  $T_o, S_o.$

Дополнительно при расчете **регулируемых объектов** требуются:

$$C; t_z, t_{np}; t_{zn}, t_{жк}; q_H; \alpha; \varphi; h, S_o;$$

при **адаптивном регулировании** –  $C_{min}, t_{zmin}, C_{max}, t_{zmax}, T_{min};$

при **координации** –  $t_s, q_o;$

при **вторых стоп-линиях** –  $t_s;$

при **отнесении стоп-линии** –  $S_\phi, S_H;$

при **перегрузке** –  $T_o;$

при **СФО типа «Выбор»** –  $\beta.$

Для расчета **экологических потерь** требуются, как правило, следующие основные исходные данные:

тип покрытия, озеленение, экранирование;

$$Q, I_Q; Q_n, I_{Qn}; V, I_v; K_{nn}; i, s; \Phi_\Gamma, V_o; \alpha; \Delta\delta, \Delta\partial, \Delta\text{эл}, \Delta O; B_y, H; \bar{t}, r, N_3.$$

Для расчета **аварийных потерь** требуются, как правило, следующие исходные данные:

$n_{a1}$ , тяжесть последствий аварий, мероприятия по снижению аварийности и (или) прогнозируемое число аварий,  $n_{a2}$ .

### 2.3. ПОЛУЧЕНИЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Ниже, в очень кратком изложении, будет приведена методика получения некоторых исходных данных.

### 2.3.1. ИНТЕНСИВНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ

В качестве расчетных значений рекомендуется принимать 60% доверительную вероятность распределения ИД за расчетный период:

$$Q^* = Q = \bar{Q}(1 + 0,25 \cdot I_Q), \text{ а/ч,}$$

$$q^* = q = \bar{q}(1 + 0,25 \cdot I_q), \text{ а/с,}$$

где  $\bar{Q}, \bar{q}$  – математическое ожидание распределения ИД, а/ч; а/с;  
 $I_Q, I_q$  – коэффициент вариации распределения ИД:

$$I_Q = \frac{\sigma_Q}{\bar{Q}} \cdot \frac{n}{n-1},$$

где  $\sigma_Q$  – среднее квадратическое отклонение распределения ИД, а/ч;

$$\sigma_Q = \sqrt{\frac{\sum (\bar{Q} - Q_i)^2 \cdot n_i}{\sum n_i}},$$

где  $n$  – число измерений переменной величины.

Напомним, что

$$\bar{Q} = \frac{\sum Q_i \cdot n_i}{\sum n_i},$$

где  $Q_i$  – текущее значение величины  $Q$ ;

$n_i$  – частота появления величины  $Q_i$ .

В качестве расчетного периода на нерегулируемых объектах принимают светлый период рабочего дня недели, примерно, с 7 до 19 часов местного времени. В этот период желательно проведение 7 замеров ИД, примерно, через 2 часа. Продолжительность одного замера – 10 минут. На регулируемых объектах расчетный период (при многопрограммном регулировании) может быть уменьшен до

2–3 часов. В этом случае количество замеров может быть уменьшено до 3. Продолжительность одного замера – 10 СФЦ.

Параметры распределения ИД пешеходов определяются аналогично. При этом напоминаем, что расчетное значение ИД пешеходов определяется по суммарной (в обоих направлениях) интенсивности пешеходного движения  $q_{n\Sigma}$ , под которой понимают сумму математических ожидание обоих распределений:

$$q_{n\Sigma} = \bar{q}_{n1} + \bar{q}_{n2},$$

где  $\bar{q}_{n1}$  и  $\bar{q}_{n2}$  – математическое ожидание распределения ИД пешеходов «туда» и «обратно».

При расчете экологических потерь расчетная интенсивность пешеходного движения на заданном объекте определяется как сумма средних значений (математических ожиданий распределения) ИД всех(!) пешеходов при расчете потерь по всему (двухстороннему) потоку, и как половина этой суммы – при расчете потерь отдельно для каждого направления.

При определении величины  $\Delta\delta, \Delta\theta, \Delta\epsilon, \Delta O, \Delta n_{ов}$  рекомендуется использовать средние значения (математическое ожидание) величины  $Q$ .

В случае отсутствия необходимых данных для расчетов, соотносясь с обстоятельствами, можно принимать:

$I_q \approx 0,3...0,4$  – для больших расчетных периодов и  $I_q \approx 0,1...0,3$  – для малых расчетных периодов;

$$\Delta\delta \approx 0,8;$$

$$\Delta\epsilon \approx 0,01...0,02$$
 – на улицах с троллейбусным движением;

$\Delta O \approx 0,01...0,03$  – на улицах с движением общественного маршрутного транспорта.

### **2.3.2. СОСТАВ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА**

В качестве расчетных значений коэффициентов приведения  $K_{гн}$  и  $K_{гз}$  для неспециальных расчетов рекомендуется принимать средневзвешенные значения по результатам измерения ИД за расчетный период:

$$K_n^* = \frac{\sum K_m \cdot n_i}{\sum n_i},$$

где  $K_{ni}$  – значение коэффициента приведения для данного замера ИД;  
 $n_i$  – число замеров ИД.

### 2.3.3. ПОТОК НАСЫЩЕНИЯ

Поток насыщения – это наибольшая средняя за время горения зеленого сигнала интенсивность убытия автомобилей от стоп-линии при рассасывании достаточно длинной очереди. При экспериментальном измерении поток насыщения определяется по формуле:

$$q_n = \frac{t_z - 1,5 \cdot T_H}{t_z \cdot T_H}, \text{ а/с,}$$

где  $t_z$  – время горения зеленого сигнала, с;

$T_H$  – установившийся интервал убытия, с. Определяется по формуле:

$$T_H = \frac{t_H}{1,125 * n_H + 0,75} - \text{если } n_H \leq 6;$$

$$T_H = \frac{t_H}{n_H + 1,5} - \text{если } n_H > 6,$$

где  $n_H$  – число транспортных средств, находящихся в очереди;  $n_H \geq 4$ .

$t_H$  – время рассасывания очереди, с.

Расчетное определение потока насыщения приведено в п. 3.1.2.1.1.

### 2.3.4. СКОРОСТЬ ДВИЖЕНИЯ

В качестве расчетного значения СД транспортного потока принимают, как правило, математическое ожидание распределения мгновенных скоростей ТС. Объем выборки не должен быть меньше 25–30 замеров. Коэффициент вариации,  $I_v$ , рекомендуется определять по стандартному (исправленному) среднему квадратическому отклонению (см п. 2.3.1.).

Замеры следует производить при (относительно) свободном движении ТС по полосе. При светофорном регулировании – только при сводном движении на ЗС светофора.

Если произведено несколько измерений СД, например, утром, днем и вечером (что весьма желательно), то в качестве расчетных значений  $V$  и  $I_V$  можно принимать средневзвешенное по результатам этих замеров. При определении скорости движения на входе в конфликтный объект можно воспользоваться результатами измерения СД на предыдущем перегоне, либо выполнить специальные замеры.

Скорость движения на участке УДС, включающем линейные и конфликтные объекты, определяется путем проезда по этому участку ходовой лаборатории. В качестве ходовой лаборатории может быть использован любой (легковой) автомобиль с исправным спидометром. При движении по исследуемому участку один из наблюдателей постоянно, например, через 10 секунд, фиксирует показания спидометра, включая нулевые при остановках. По результатам измерений определяются параметры распределения скорости движения на перегоне, математическое ожидание которого корректируется по результатам параллельного измерения времени проезда участка и пройденного пути. Рекомендуется выполнять несколько проездов (желательно не менее 3), а в качестве расчетных принимать средневзвешенные значения искомых параметров.

### 2.3.5. ГРАДИЕНТ СКОРОСТИ

Градиент скорости,  $G_v$ , определяется по формуле:

$$G_v = \frac{\sigma_a}{\bar{v}}, \text{ л/с},$$

где  $\bar{v}$  – математическое ожидание распределения СД, м/с;

$\sigma_a$  – шум ускорения, м/с<sup>2</sup>. Определяется по результатам измерений скорости при проезде ходовой лаборатории по исследуемому участку УДС:

$$\sigma_a = \sqrt{\frac{(\Delta v)^2}{t} \cdot \sum_0^t \frac{1}{\Delta t} - \left( \frac{v_t - v_0}{t} \right)^2}, \text{ м/с}^2,$$

где  $\Delta v$  – изменение скорости на некоторую заданную величину, м/с. На участках средней протяженности – от 0,5 до 5 км – рекомендуется

принимать  $\Delta v = 1$  м/с. На участках малой протяженности  $\Delta v$  может быть уменьшено, например, до 0,5 м/с;

$\Delta t$  – отрезок времени, на котором происходило изменение скорости на  $\Delta v$ , с;

$t$  – продолжительность измерения, с;

$v_0$  – скорость на входе в участок, м/с;

$v_1$  – скорость на выходе из участка, м/с.

При отсутствии данных по  $\sigma_a$  и  $G_V$  следует пользоваться уровнем обслуживания (см. табл. 4). При этом, если значения  $V$  и  $Q$  не совпадают для данного уровня обслуживания, то предпочтение следует отдать величине скорости,  $V$ .

### **2.3.6. ПАРАМЕТРЫ СВЕТОФОРНОГО ЦИКЛА**

Параметры СФЦ –  $C, t_z, t_{zn}, t_{жс}, t_{np}$  – определяются из паспортных данных или экспериментальным путем. При измерениях необходимо добиться полного совпадения результатов, для чего следует выполнить не менее 3 замеров.

Параметры СФЦ при адаптивном регулировании определяются из паспортных данных СФО. Вероятность состояния  $P_l(t_{zmin})$  определяется аналитически, однако, желательна экспериментальная проверка полученных значений.

### **2.3.7. ИНТЕНСИВНОСТЬ ОСТАНОВЛЕННЫХ ТС ПРИ КООРДИНАЦИИ**

Величина  $q_0$  может быть определена аналитически путем подсчета ИД внепачковых автомобилей, исходя из картограмм интенсивности и планов координации. На существующих объектах величину  $q_0$  целесообразно определять экспериментально, путем подсчета числа остановленных ТС на стоп-линии. Продолжительность измерений – 10 СФЦ. Число размеров – не менее 3 за расчетный период.

### **2.3.8. ГОДОВОЙ ФОНД ВРЕМЕНИ**

Как указано в п. 3.1.1.1., величина  $\Phi_2$  колеблется в широких пределах – от 2500 ч/год для слабонагруженных объектов до 4200 ч/год – для сильнонагруженных объектов. При этом вполне возможны случаи, когда величина  $\Phi_2$  выходит за эти пределы.

Чтобы определить степень нагруженности объекта необходимо провести контрольные замеры ИД утром – примерно, с 6 до 8 ч – и вечером – примерно, с 19 до 21 ч. Продолжительность одного замера – 10 минут или 10 СФЦ, периодичность – через 10 мин или 10 СФЦ. По результатам этих замеров оценивается суточная продолжительность расчетного периода и, соответственно, величина  $\Phi_2$ . Если объект нагружен и в выходные дни, то в эти дни также следует провести контрольные замеры, которые позволят оценить количество расчетных дней в году. В любом случае, при сопоставлении вариантов решений следует пользоваться одинаковой величиной годового фонда времени.

### **2.3.9. ДРУГИЕ ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ**

Остальные исходные данные определяются, как правило, либо из масштабного плана, либо путем экспериментальных исследований (измерений, замеров, наблюдений, оценок), либо задаются. Приведем некоторые особенности определения отдельных исходных данных.

Высота микронеровностей на проезжей части,  $h$ , определяется наблюдениям или (в первый раз) элементарным измерением с помощью обычной линейки или штангенциркуля.

Коэффициент сцепления  $\phi$  определяется путем сопоставления реального покрытия с данными табл. 5.

При расчетах экологических потерь расстояние  $r$  для жителей прилегающих зданий следует определять с учетом этажности.

Средний возраст ТС в Республике Беларусь на 2006 год оценивается в 12 лет. При этом, в крупных городах он, очевидно, несколько меньше, в сельской местности – несколько больше.

Время перегрузки,  $T_o$ , и протяженность критического участка,  $S_o$ , определяются экспериментально, путем наблюдений или измерений.

При расчете потерь, связанных с обгоном или сменой полосы движения, значения  $q_F, q_s, V_F$  и  $V_s$  определяются экспериментально. Для прикидочных расчетов в случае отсутствия экспериментальных исходных данных, можно применять:

$$V_F - V_s \approx 20 \dots 30 \text{ м/с} - \text{загород.}$$

$$V_F - V_s \approx 10 \dots 20 \text{ м/с} - \text{город.}$$

$$q_F \neq q_s \approx 1 \dots 2.$$

При определении доли работы СФО «Выбор» в регулируемом режиме,  $\beta$ , следует провести измерения числа включений на ТВП. Для этого, как представляется, достаточно выполнить три получасовых замера утром, днем и вечером и оценить суточную продолжительность работы объекта.

В тех случаях, когда исходные данные для конкретного объекта по каким-либо причинам не могут быть получены в данный момент, для предварительных расчетов можно воспользоваться данными предыдущих расчетов или с аналогичных объектов.

## Раздел 3

### ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ

Необходимо различать экономические потери в дорожном транспорте и в дорожном движении, хотя они довольно близко связаны между собой. Потери в системе дорожного транспорта – это суммарные потери во всех подсистемах, включая и дорожное движение. Как известно, в дорожный транспорт входят такие подсистемы, как дороги, транспортные средства, автомобильные перевозки, правоохрана, придорожный сервис, подготовка кадров и т.д. Во всех этих подсистемах имеют место очень большие экономические потери, связанные с:

- себестоимостью продукции (в т.ч. и услуг) – практически повсеместно из-за устаревшего оборудования, несовершенных технологий, качества рабочей силы, издержек перевозочного процесса и т.д., себестоимость продукции существенно выше достигнутой в развитых странах;

- неоптимальностью принимаемых решений – нелучшее положение дороги, неудачное размещение АЗС, длительные сроки строительства, реконструкции или ремонта и т.д.;

- невысокой надежностью и долговечностью продукции, используемой в инфраструктуре дорожного транспорта – технологические машины и оборудование, инструмент, обучающие системы и т.д.

Особую роль играет качество конечной продукции и услуг, производимых в инфраструктуре дорожного транспорта, но проявляющееся уже в процессе дорожного движения, например, качество покрытия, качество транспортных средств, систем управления, подготовки кадров и т.д. Легко увидеть, что это качество, наряду с несовершенством управления процессом движения, является одной из главных причин *экономических потерь в дорожном движении, к которым относятся необязательные издержки процесса движения, имеющие, преимущественно, экономический характер*. К их числу можно отнести:

- задержки (потери времени) транспорта из-за снижения скорости движения или вынужденных простоев на улично-дорожной сети;

- остановки транспорта, включающие, как известно, торможение, собственно остановку, трогание и разгон;

- перепробег транспорта во всех его формах и проявлениях;
- перерасход топлива из-за неблагоприятных режимов движения;
- дополнительный (ускоренный) износ транспортного средства и дорожного покрытия из-за неблагоприятных режимов движения;
- задержки (потери времени) пешеходов;
- перепроход пешеходов;
- задержки пассажиров (они учитываются в задержках или перепробеге транспорта).

Приведенный перечень относится к т.н. прямым издержкам. Однако, имеются еще и опосредованные издержки, например, потеря прибыли (выгоды) участниками движения из-за незапланированных простоев или опозданий, потеря прибыли в смежных отраслях из-за невыполнения принятых обязательств, упущенная выгода из-за неполного использования возможностей и т.д. В результате, в процессе дорожного движения, также как и в инфраструктуре дорожного транспорта, имеют место огромные экономические потери. Соотношение потерь в дорожном движении и потерь в инфраструктуре дорожного транспорта, к сожалению, неизвестно, но, думается, что они вполне сопоставимы.

Определение экономических потерь в дорожном движении производится с использованием понятия удельной (на один автомобиль или один пешеход) стоимости каждого из основных подвидов экономических издержек,  $C_e$ . Для расчетного легкового автомобиля эта стоимость,  $C_{eл}$ , определяется заранее и на некоторый расчетный период, например, на 5 лет, приводится в виде справки. Стоимость издержки для остальных видов транспортных средств,  $C_{ei}$ , определяется с помощью т.н. экономического коэффициента приведения  $K_{nэi}$ :

$$C_{ei} = C_{eл} \cdot K_{nэi},$$

где  $K_{nэi}$  – экономический коэффициент приведения для  $i$ -ой группы транспортных средств (см. табл. 1).

В дальнейшем, для обозначения стоимости издержки легкового автомобиля, индекс «л» будет опускаться и она будет обозначаться « $C_e$ ».

Для выполнения «стандартных» расчетов вполне достаточно использования обобщенных экономических коэффициентов приведения  $K_{нз}$  из табл. 1. Для выполнения специальных расчетов могут потребоваться значения  $K_{нз}$ , определенные для каждого из подвигов издержек или еще более детальные сведения, например, для отдельных видов грузовых автомобилей, автопоездов или автобусов. А для выполнения прикидочных расчетов иногда ограничиваются классификацией транспортных средств, состоящей всего из трех подгрупп: легковые, грузовые, общественный транспорт.

Таблица 1

### Коэффициенты приведения транспортных средств [9]

№	Тип транспортного средства	Группа	Индекс	$K_{из}$	$K_{пр}$	$K_{из}$
1	Мотоциклы, мотороллеры, мопеды	Мотоциклы	М	0,5	0,7	0,4
2	Легковые, грузопассажирские, микроавтобусы	Легковые	Л	1,0	1,0	1,0
3	Грузовые, тракторы, сельскохозяйственные машины	Грузовые	Г	2,0	1,4	1,7
4	Автопоезда, тракторные поезда	Автопоезда	П	3,5	2,3	3,0
5	Автобусы, троллейбусы	Общественный	О	3,0	2,0	8,0
6	Сочлененные автобусы, троллейбусы	Сочлененные	С	4,0	2,6	14,0

Определив для каждого подвида удельные издержки в физическом измерении, зная годовой объем движения, экономический коэффициент приведения транспортного потока и цену издержек, можно найти стоимость годовых издержек данного подвида. Однако, оказалось, что оценку и сопоставление вариантов решений в управлении дорожным движением гораздо удобнее выполнять не по стоимости годовых издержек  $E$ , а по величине годовых потерь  $П$ . Дело в том, что при оценке по стоимости издержек сопоставляются большие и мало отличающиеся суммы, значительная часть которых относится к *неизбежным издержкам* и которая, как балласт, постоянно и бесполезно переходит из одного оцениваемого

варианта в другой. В результате, имеющиеся различия затушевываются, оценка становится невыразительной и малоубедительной. Например, сопоставляются два варианта:  $10+2=12$  и  $10+1=11$  (допустим, млн руб/год). При оценке по потерям постоянная составляющая отбрасывается, сопоставляются только отличающиеся составляющие и оценка становится более контрастной и убедительной: 2 и 1 (млн руб/год).

Принято, что «потерей» считается стоимость только той части издержки, которой могло бы не быть при нормативной (идеальной) организации движения. Существуют известные трудности при определении «нормативной» организации движения, однако, с учетом некоторых допущений их можно преодолеть. Так, например, в качестве нормативной скорости движения принята разрешенная законодателем скорость без учета местных ограничений. (следовательно, существующее невообразимое количество местных ограничений скорости можно считать не чем иным, как непосредственным источником огромных экономических потерь). Для пешеходов на пешеходном переходе в качестве нормативной принята скорость  $\approx 5$  км/ч (1,3 м/с). В качестве нормативного пробега принят минимально возможный пробег на существующей или проектируемой улично-дорожной сети. Это же положение справедливо и для пешего движения. В качестве нормативного расхода топлива принят заявленный расход топлива для данной группы транспортных средств при движении с нормативной скоростью. Что касается остановок транспорта, то принято, что в идеальном случае вынужденных остановок не должно быть, поэтому каждая остановка транспортного средства – это потеря. В работе рассматриваются 6 подвидов экономических потерь в дорожном движении – 4 для транспорта и 2 для пешеходов, удельные издержки которых имеют следующие обозначения и размерности:

$e_o$  - количество остановок, ост/авт;

$e_s$  - удельный перепробег, км/авт;

$d$  (или  $e_t$ ) – удельная задержка, с/авт;

$e_T$  - удельный перерасход топлива, л/авт.км;

$d_n$  - удельная задержка пешеходов, с/чел;

$e_{s,n}$  - удельный перепроход, км/чел.

Годовые потери для данного подвида,  $\Pi_i$ , определяются по формуле:

$$\Pi_i = e_i \cdot Q \cdot \Phi_2 \cdot K_{нэ} \cdot C_{ei} \cdot K_{ec}, \text{ у.е./год,}$$

где  $e_i$  – удельные экономические издержки данного подвида (в физическом выражении – ост, сек, км, литр);

$C_{ei}$  – стоимость удельной издержки данного подвида, (у.е./ост; у.е./час; у.е./км; у.е./литр);

$Q$  – интенсивность движения, а/ч или чел/час;

$\Phi_2$  – годовой фонд времени, час/год;

$K_{нэ}$  – экономический коэффициент приведения транспортного потока;

$K_{ec}$  – коэффициент приведения размерностей. Дело в том, что удельные задержки измеряются, в секундах – с/авт, с/чел, а стоимость задержки измеряется в у.е./а.час или у.е./чел.час. Поэтому, для расчета потерь от задержек  $K_{ec} = 1/3600$ , а для остальных подвигов  $K_{ec} = 1$ .

*Экономические потери на исследуемом объекте или участке определяются для каждого подвида и затем суммируются.*

Рассмотрим подробнее *стоимость издержки  $C_{ei}$* . Справочные данные по стоимости издержек должны быть результатом серьезных исследований и периодически корректироваться, по меньшей мере, не реже одного раза в 5 лет. При высоком уровне инфляции корректировка должна производиться чаще, а стоимость целесообразно давать в какой-либо твердой валюте, сопоставляя стоимость национальной валюты на момент выполнения расчетов и на момент опубликования справочных данных. В данной работе используются справочные данные по  $C_e$ , полученные в результате предварительных исследований 1985–1986 гг., – позднее, насколько известно, подобные исследования ни в Республики Беларусь, ни в бывшем СССР не проводились. За истекшее время изменился не только масштаб цен, но и соотношение составляющих, поэтому точность расчетов несколько снизилась.

Однако, поскольку иного нет, приводим эти данные, практически, в том виде, в котором они были получены в 1986 г. [9]. При

этом учтены некоторые изменения, произошедшие за истекший период, например, в цене топлива, которая увеличилась, почти в 4 раза и составила около 0,4 у.е./ литр, и т.д.

*Стоимость задержки* принята равной  $C_d = 2,2$  у.е./час. В эту стоимость вошли:

амортизационные расходы	0,3
эксплуатационные расходы	0,3
задержка водителя и одного пассажира	0,6
расход топлива	0,8
<u>потери прибыли потребителями(10%)</u>	<u>0,2</u>
Итого:	2,2 у.е./ч

*Стоимость остановки* принята равной  $C_0 = 0,02$  у.е./ост.:

потери времени на разгон-торможение	0,0049
перерасход топлива при трогании и разгоне (0,025л)	0,0100
дополнительный износ двигателя, шин и т.д.	0,0030
<u>потери прибыли потребителями</u>	<u>0,0018</u>
Итого:	0,0197 у.е./ост.

*Стоимость перепробега* принята равной  $C_s = 0,1$  у.е./км. В эту стоимость вошли (скорость движения 50 км/час):

потери времени водителем и пассажиром	0,012
расход топлива	0,040
амортизационные расходы	0,018
эксплуатационные расходы	0,018
<u>потери прибыли потребителями</u>	<u>0,009</u>
Итого:	0,097 у.е./км

*Стоимость перепрохода*  $C_{sn} = 0,12$  у.е./км определена исходя из допущения, что время, потерянное пешеходом при ходьбе, оценивается в два раза дороже, чем время, потерянное пешеходом при ожидании.

*Стоимость задержки пешехода* принята:  $C_{dn} = 0,3$  у.е./ч.

### 3.1. ЗАДЕРЖКИ ТРАНСПОРТА

Задержки транспорта имеют место на нерегулируемых конфликтных объектах, на регулируемых объектах и на линейных объектах.

#### 3.1.1. НЕРЕГУЛИРУЕМЫЕ КОНФЛИКТНЫЕ ОБЪЕКТЫ

Они включают нерегулируемые перекрестки, кольцевые перекрестки и пешеходные переходы. Как правило, потери от задержек транспорта рассчитываются отдельно для каждой полосы движения, а результаты суммируются.

Годовые потери от задержек транспорта (на полосе) определяются по формуле:

$$P_d = \frac{d}{3600} \cdot Q \cdot K_{пз} \cdot \Phi_2 \cdot C_d, \text{ у.е./год},$$

где  $d$  – удельная задержка, с/а;

$Q$  – интенсивность движения, а/ч;

$K_{пз}$  – экономический коэффициент приведения ТП (см. табл. 1).

$\Phi_2$  – годовой фонд времени, час/год. В качестве расчетных значений  $\Phi_2$  чаще всего принимают 3600 ч/год ( $300 \cdot 12 = 3600$ ). Однако, для сильнонагруженных объектов на пересечении магистральных улиц или дорог эта цифра может быть увеличена до 4200 ч/год ( $300 \cdot 14 = 4200$ ). В то же время, для слабонагруженных объектов величина  $\Phi_2$  может быть уменьшена до 2500 ч/год ( $250 \cdot 10 = 2500$ ). В принципе, расчетчик может принимать любые обоснованные значения  $\Phi_2$ , тем более, в диапазоне от 2500 до 4200 час/год.

$C_d$  – стоимость одного часа задержки приведенного (легкового) автомобиля, у.е./час.

В данной работе принято  $C_d = 2,2$  у.е./ч. Необходимо отметить, что цифра «2,2» принята на основании предварительных расчетов, выполненных ранее. Очевидно, на момент опубликования работы она несколько изменится (увеличится), однако чтобы ее уточнить, необходимо проведение специальных исследований (примерно, раз в 5 лет). К сожалению, в рамках данной работы такие исследования

не предусмотрены, поэтому будут использованы несколько «устаревшие» величины стоимости задержки, остановки, перепробега, задержки и перепрохода пешеходов. Однако, поскольку при выборе вариантов решения определяющее значение имеют относительные величины, то такая погрешность вполне терпима.

Наибольшую сложность представляет определение удельной задержки, которая имеет свои особенности практически для каждого отдельного расчетного случая. Ниже будут приведены расчеты удельных задержек для наиболее часто встречающихся расчетных случаев.

### 3.1.1.1. Нерегулируемые перекрестки

Будет рассмотрен расчет задержек транспорта для главных левоповоротных (12 – см. рис. 1), главных правоповоротных (14) и разворотных (11) потоков, второстепенных транзитных (42), левоповоротных (41), правоповоротных (43) и разворотных (44) потоков, а также расчет задержек при совместном транзитном и поворотном движении с одной полосы.

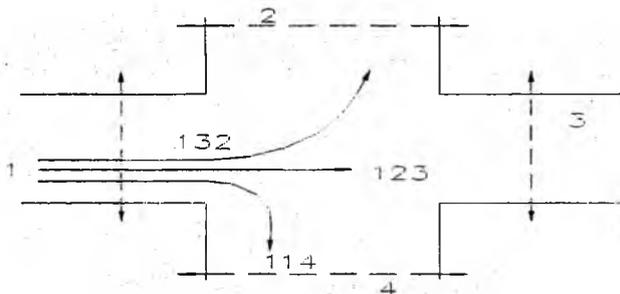


Рис. 1. Нумерация потоков на перекрестках

#### 3.1.1.1.1. Главный левоповоротный поток (12)

$$d_{12} = d'_{12} + d''_{12} + d'''_{12}, \quad c/a,$$

где  $d'_{12}$  – удельная задержка на условной 1-й стоп-линии, при входе в перекресток,  $c/a$ .  $d'_{12} = 0$ , поскольку рассматриваемый поток относится к категории «главных».

$d_{12}''$  – удельная задержка на условной 2-й стоп-линии перед главным конфликтующим потоком, с/а:

$$d_{12}'' = \frac{e^{qT} - qT - 1}{q - q_{12}(e^{qT} - qT - 1)} \geq 0, c/a,$$

где  $q$  – ИД главного (по отношению к 12) конфликтующего потока (ГКП), а/с – в данном случае, потока 31:

$$q = q_1 \cdot 0,9^{(i-1)}, c/a,$$

где  $q_1$  – суммарная ИД главного конфликтующего потока (относительно 12), а/с;

$i$  – число полос движения ГКП;

$T$  – приемлемый интервал в ГКП, с:

$$T \approx \frac{5+i}{2} \cdot K_{yn} \cdot \sqrt{K_{пн2}} \cdot 1,05^{0,1(V_1-60)}$$

где  $K_{пн2}$  – динамический коэффициент приведения второстепенного конфликтующего потока (ВКП) – в данном случае 12 (см. табл. 1);

где  $K_{yn}$  – коэффициент условий по потоку насыщения:

$$K_{yn} = K_{yn1} \cdot K_{yn2} \cdot K_{yn3},$$

где  $K_{yn1}$ ,  $K_{yn2}$ ,  $K_{yn3}$  – частные коэффициенты условий по потоку насыщения (табл. 2 и табл. 3) Заметим, что в обычных условиях коэффициент  $K_{yn}$  находится в пределах 1 ... 1,2.

Таблица 2

### Значения коэффициентов условий Куи [9]

Индекс	Оцениваемый параметр	Расчетные значения				
		3	4	5	6	7
$K_{yn1}$	Коэффициент сцепления, $\varphi$	$\varphi$	0,1	0,2	0,3	>0,3
		$K_{yn1}$	2,0	1,5	1,2	1,0

1	2	3	4	5	6	7	
$K_{ун2}$	Неровности на проезжей части, $h$	$h$ , мм	10-20	20-50	50-100	>100	тип
		$K_{ун2}$	1,0	1,2	1,5	2,0	одиночные
			1,05	1,3	1,6	2,1	повторяющиеся
$K_{ун3}$	Продольный уклон, $\alpha$	$K_{ун3} = 1 \pm 0,04\alpha^0$ , где $\alpha^\circ$ угол наклона; (+) – подъем; (-) – спуск					

Таблица 3

Расчетные значения коэффициента сцепления  $\varphi$ 

Тип покрытия	Состояние	
	Сухое	Мокрое
Асфальтобетон	0,70–0,80	0,35–0,45
Цементобетон	0,70–0,80	0,40–0,50
Гравийное, щебеночное, клинкерное	0,60–0,70	0,30–0,40
Грунтованное, укатанное	0,65–0,70	0,35–0,40
Утрамбованный снег	0,20–0,30	0,20–0,30
Обледенелый снег	0,10–0,15	0,10–0,15
Обледенелый асфальтобетон	0,06–0,10	0,06–0,10

$V_1$  – СД главного конфликтующего потока, км/ч;

$q_2$  – ИД второстепенного конфликтующего потока, а/с;

$d_{12}'''$  – удельная задержка на условной 3-й стоп-линии, перед пешеходами, с/а:

$$d_{12}''' = \frac{e^{q_n T_n} - q_n T_n - 1}{q_n - \frac{q_2}{n_e \cdot i_n} (e^{q_n T_n} - q_n T_n - 1)} \geq 0, \text{ с/а,}$$

где  $q_n$  – расчетная ИД пешеходов, чел/с:  $q_n \approx 0,7 \cdot q_{н\Sigma}$ , чел/с,

где  $q_{n\Sigma}$  – суммарная (в обоих направлениях) ИД пешеходов на переходе, пересекаемом ВКП, чел/с (в данном случае на переходе 2);  
 $T_n$  – приемлемый интервал в пешеходном потоке, с:

$$T \approx 4 \cdot K_{yn} \cdot \sqrt{K_{пн2}} \cdot 1,05^{0,1(V_2-60)}, \text{ с}$$

где  $V_2$  – скорость движения ВКП, км/ч:

$$V_2 \approx 1,2R_2 \leq 50 \text{ км/ч,}$$

где  $R_2$  – радиус поворота траектории ВКП, м:  $R_2 \geq 8$ м;

$n_e$  – емкость полосы перед пешеходным переходом, авт:

$$n_e = \frac{l_{отн}}{6 \cdot K_{пн2}}, \text{ авт,}$$

где  $l_{отн}$  – отнесение пешеходного перехода от правой кромки проезжей части со стороны ГКП, м:  $0,5\text{м} < l_{отн} < 12\text{м}$ .

$i_n$  – число полос движения перед пешеходным переходом, который пересекает левоповоротный поток (на которых он может разместиться в ожидании приемлемого интервала в пешеходном потоке).

### 3.1.1.1.2. Главный правоповоротный поток (14)

$$d_{14}''' = \frac{e^{q_n T_n} - q_n T_n - 1}{q_n - \frac{q_2}{n_e \cdot K_{дос} \cdot i_n} (e^{q_n T_n} - q_n T_n - 1)} \geq 0, \text{ с / а,}$$

где  $q_m$ ,  $T_m$ ,  $i_n$  и  $n_e$  – определены ранее (п. 3.1.1.1.1.),

$K_{дос}$  – коэффициент доступности полос перед пешеходным переходом:

$$K_{дос} \approx j^{l_{отн} - (4+j)K_{пн2}} \leq 1, \text{ авт,}$$

где  $j$  – порядковый номер (начиная справа) полосы перед пешеходным переходом;

$l_{отп}$  – см. п. 3.1.1.1.1.

### 3.1.1.1.3. Главный разворотный поток (11)

$$d''_{11} = \frac{e^{qT} - qT - 1}{q - q_2(e^{qT} - qT - 1)} \geq 0, c/a,$$

где  $q_2$  и  $q$  – определены в п. 3.1.1.1.1.1.

$T$  – приемлемый интервал в ГКП:

$$T \approx \frac{8+i}{2} \cdot K_{ун} \cdot \sqrt{K_{пн2}} \cdot 1,05^{0,1(V_1-60)}, c$$

где  $i, K_{пн2}$  и  $V_1$  – определены в п. 3.1.1.1.1.

### 3.1.1.1.4. Второстепенный транзитный поток (42)

Маневр транзитного пересечения перекрестка второстепенным потоком может быть выполнен в один или в два приема. Если геометрические характеристики перекрестка при двухстороннем движении ГКП позволяют водителям ВКП после пересечения 1-го главного потока остановиться перед 2-м главным потоком, то маневр осуществляется в два приема. При этом, рассчитываются удельные задержки на 1-й стоп-линии,  $d'$  и удельные задержки на 2-й стоп-линии,  $d''$  и для каждого случая определяются свои значения параметров  $q$  и  $T$ . Если же условия не позволяют выполнить маневр в два приема и он выполняется в один прием, то рассчитываются удельные задержки только на первой стоп-линии,  $d'$ , но значения параметров  $q$  и  $T$  определяются, исходя из всей суммы главных конфликтующих потоков.

В данной методике будет приведен 2-й расчетный случай – выполнение маневра в один прием.

$$d'_{42} = \frac{e^{qT} - qT - 1}{q - q_2(e^{qT} - qT - 1)} \geq 0, c/a,$$

где  $q_2$ , и  $q$  – определены в п. 3.1.1.1.1.

$T$  – приемлемый интервал в ГКП, с:

$$T \approx \frac{6+i}{2} \cdot K_{yn} \cdot \sqrt{K_{пн2}} \cdot 1,05^{0,1(t_i-60)}, \text{ с}$$

где  $V_1$  – наибольшая СД одного из ГКП, км/ч;

$i$  – см. п. 3.1.1.1.1.

Напомним, что главным по отношению к исследуемому потоку являются главные транзитные и левоповоротные потоки, а также правоповоротный поток 32, если движение осуществляется в одну полосу.

#### 3.1.1.1.5. Второстепенный левоповоротный поток (41)

Рассматривается расчетный случай, при котором маневр левого поворота осуществляется в два приема – с задержкой перед первой стоплинией,  $d'_{41}$ , и задержкой перед пешеходами,  $d'''_{41}$ :  $d_{41} = d'_{41} + d'''_{41}$ . Удельная задержка перед первой (и второй одновременно) стоплинией описана в п. 3.1.1.1.4. При этом напоминаем, что главным по отношению к исследуемому являются главный транзитный поток 13, главные левоповоротные потоки, главный транзитный поток (на левой полосе) 31, а также второстепенный транзитный поток 24.

Удельная задержка перед пешеходами,  $d'''_{41}$ , определяется аналогично задержке  $d'''_{12}$  по п. 3.1.1.1.1.

#### 3.1.1.1.6. Второстепенный правоповоротный поток (43)

Рассматривается расчетный случай, при котором маневр правого поворота осуществляется в два приема – с задержкой перед первой стоплинией,  $d'_{43}$ , и задержкой перед пешеходами,  $d'''_{43}$ :  $d_{43} = d'_{43} + d'''_{43}$ .

Расчет задержки перед первой стоплинией,  $d'_{43}$ , производится аналогично расчету  $d'_{11}$  по п.3.1.1.1.3, при этом в качестве ГКП принимается интенсивность движения потока 13. Расчет задержек

перед пешеходами,  $d_{43}'''$ , производится аналогично расчету  $d_{14}'''$  по п. 3.1.1.1.2. При этом, если в качестве расчетной ИД главного конфликтующего потока при расчете  $d_{43}'$  принимается ИД на крайней правой полосе потока 13 – то  $i_n = 1$ . Если в качестве расчетной принимается ИД по двум полосам потока 13, то  $i_n = 2$  и т.д.

#### 3.1.1.1.7. Второстепенный разворотный поток (44)

Расчет выполняется согласно п. 3.1.1.1.3. При этом  $V_1$  – наибольшая скорость одного из ГКП, км/ч.

#### 3.1.1.1.8. Совместное движение с одной полосы транзитных и поворотных потоков

Удельная задержка второстепенного транзитного потока ( $d_{42}$ ) определяется по формуле:

$$d_{42} = d_{42}' + d_{42}'', \text{ с/а};$$

где  $d_{42}'$  – удельная задержка на условной 1-й стоп-линии, определяется по п. 3.1.1.1.4 из условия, что  $q_2$  – ИД на полосе, включая транзитный и правоповоротный транспорт;

$d_{42}''$  – удельная задержка транзитного транспорта на условной второй стоп-линии:

$$d_{42}'' = \frac{d_{43}''' \cdot q_{43} + d_{41}''' \cdot q_{41}}{q_{43} + q_{42} + q_{41}}, \text{ с/а};$$

где  $d_{43}'''$  и  $d_{41}'''$  – удельные задержки перед условной третьей стоп-линией соответственно, правоповоротных ( $q_{43}$ ) и левоповоротных ( $q_{41}$ ) потоков, рассчитанные по п.3.1.1.1.6 и 3.1.1.1.5.

$q_{42}$  – ИД второстепенного транзитного потока а/с.

### 3.1.1.2. Кольцевые перекрестки

По типу регулирования (приоритету) они делятся на две подгруппы – «кольцо главное» и «отсутствие помехи справа».

#### 3.1.1.2.1. Кольцевые перекрестки с регулированием по типу «кольцо главное»

Задержки транспорта имеют место на въезде в перекресток,  $d_1'$ , и, условно, на выезде из перекрестка перед пешеходным переходом,  $d_1'''$ :

$$d_1 = d_1' + d_1''', \text{ с/а,}$$

$$d_1' = \frac{e^{qT} - qT - 1}{q - q_2(e^{qT} - qT - 1)} \geq 0, \text{ с/а,}$$

где  $q$  и  $q_2$  – определены в п. 3.1.1.1.1. Напомним, что для транзитных, левоповоротных и разворотных въезжающих потоков главными являются все ТП, движущиеся по кольцу. Для правоповоротного въезжающего потока главным является правоповоротный поток, съезжающий с кольца. (В принципе, при наличии специализации полос на кольце и надлежащего контроля, в качестве ГКП можно было бы брать только часть съезжающего с кольца транспортного потока, например, для потока, въезжающего на 1-ю полосу – поток, съезжающий в 1-ю полосу и т.д. Однако, поскольку при съезде с кольца водители не придерживаются установленного порядка движения по полосам, то в качестве ГКП принят весь съезжающий в данный выход ТП).

$T$  – приемлемый интервал в ГКП, с:

$$T = 4 \cdot K_{\text{ун}} \cdot \sqrt{K_{\text{пн2}}} \cdot 1,05^{0,1(V_1 - 60)},$$

где  $V_1 \approx 1,2R_0 \leq V_{\text{огр}}$ , км/ч.

$R_0$  – радиус центрального островка, м;

$V_{\text{огр}}$  – скорость ограничения, км/ч. Если нет иных данных, то можно принимать:

$V_{\text{огр}} = 60$  км/ч – город,  $V_{\text{огр}} = 90$  км/ч – загород.

Задержка перед пешеходным переходом определяют по формуле:

$$d_1''' = K_{пр} \cdot \frac{e^{q_n T_n} - q_n T_n - 1}{q_n} \geq 0, \text{ с/а,}$$

где  $K_{пр}$  – коэффициент приоритета;  $K_{пр} = 0,0 \dots 1,0$  см.п. **3.1.1.3)**

$q_n$  – см. п. **3.1.1.1.1;**

$T_n$  – приемлемый интервал в пешеходном потоке, с:

$$T_n = 4 \cdot K_{ун} \cdot \sqrt{K_{пн2}} \cdot 1,05^{0,1(V_2 - 60)}$$

где –  $V_2 \approx 1,2 R_0 \leq V_{огр}$ , км/ч – (см. выше определение  $V_1$ ).

Напомним, что в сложившейся практике съезжающие (**правоповоротные**) ТП из-за высокой скорости и по иным причинам, практически, не пропускают пешеходов, поэтому  $d_1''' \rightarrow 0$ .

### *3.1.1.2.2. Кольцевые перекрестки с регулированием по типу «отсутствие помехи справа»*

Задержки транспорта имеют место на кольце, перед каждым последующим въездом, а также, теоретически, при съезде с кольца перед пешеходами.

$$d_1 = \sum_1^j d_1'' + d_1''', \text{ с/а,}$$

где  $j$  – число входов, которое проезжает по кольцу исследуемый ТП. При правоповоротном движении  $j=0$  и  $d_1''' = 0$ ;

$d_1''$  – определяется аналогично  $d_1'$  по п. **3.1.1.2.1**, при этом в качестве ГКП здесь выступает въезжающий на перекресток ТП;

$d_1'''$  – определяется по п. **3.1.1.2.1**, при этом напоминаем, что на практике  $d_1''' \rightarrow 0$ .

### 3.1.1.3. Пешеходные переходы

В Республике Беларусь пешеходы имеют однозначный приоритет только перед поворотным транспортом. Приоритет перед транзитным транспортом четко не оговорен, поэтому в разных местах и в разное время имеет место различающийся приоритет. Пешеходные переходы, расположенные в центре крупных городов и находящиеся под постоянным контролем автоинспекции, работают в режиме, близком к приоритету пешеходов. По мере удаления от центра и ослабления контроля приоритет все больше переходит к транспорту и в периферийных районах пешеходные переходы работают исключительно в режиме «приоритет транспорта».

Расчет задержек поворотного транспорта рассмотрен ранее (п. 3.1.1.1.1, 3.1.1.1.2 и др.). Расчет задержек транзитного транспорта производится для режима «приоритет пешеходов» с внесением поправочного **коэффициента приоритета**,  $K_{np}$ , значения которого находятся в пределах от 1 – центр города, полный контроль автоинспекции, до 0 – периферия, гарантированное отсутствие контроля. Расчетчик вынужден сам назначать величину  $K_{np}$ . Расчет производится по формуле:

$$d_1^{пр} = \frac{e^{q_n T_n} - q_n T_n - 1}{q_n - q_2 (e^{q_n T_n} - q_n T_n - 1)} \cdot K_{np}, \text{ с/а}$$

где  $q_n$ ,  $T_n$  и  $q_2$  – определены в п. 3.1.1.1.1 при определении  $d_1^{пр}$ .

### 3.1.2. РЕГУЛИРУЕМЫЕ КОНФЛИКТНЫЕ ОБЪЕКТЫ

Они включают жесткое локальное, адаптивное и координированное регулирование. Годовые потери определяются аналогично п.3.1.1.

#### 3.1.2.1. Жесткое локальное регулирование

Оно включает регулируемые перекрестки, регулируемые пешеходные переходы и ж/д переезды. Расчет задержек на пешеходных

переходах аналогичен расчету задержек транзитного транспорта на регулируемом перекрестке. Для расчета задержек на ж/д переезде необходимо по средним значениям за время наблюдений (не менее 14 часов светлого времени суток) определить основные параметры условного СФЦ – продолжительность  $C$ , доля ЗС для транспорта, поток насыщения и др. В качестве базового в данной работе будет рассматриваться расчет задержек на регулируемом перекрестке.

### 3.1.2.1.1. Транзитное направление (13)

Расчет задержек на 1-й стоп-линии при условии безостановочного движения после её прохождения производится по упрощенной формуле Вебстера [1]:

$$d'_{13} = 0,45 \cdot \left[ \frac{C(1-\lambda)^2}{1-\lambda x} + \frac{x^2}{q(1-x)} \right], \text{ с/а,}$$

где  $C$  – продолжительность СФЦ, с;  
 $\lambda$  – доля ЗС в цикле:

$$\lambda = \frac{t_z}{C},$$

где  $t_z$  – продолжительность ЗС, с;  
 $q$  – расчетная ИД на полосе а/с:

$$q = \bar{q}(1 + 0,25I_q), \text{ а/с,}$$

где  $\bar{q}$  – математическое ожидание распределения ИД за расчетный период (время действия заданной программы регулирования), а/с;  
 $I_q$  – коэффициент вариации распределения ИД. При отсутствии иных данных можно принимать  $I_q = 0,4$ .  
 $x$  – коэффициент загрузки полосы движением:

$$x = \frac{q}{q_n \lambda},$$

где  $q_n$  – поток насыщения, а/с. Как правило, для действующих объектов значения  $q_n$  определяются экспериментально. При отсутствии иных данных можно принимать:

$$q_n = \frac{0,5(t_z - 3)}{t_z \cdot K_{nn} \cdot K_{yn}}, \text{ а/с,}$$

где  $K_{yn}$  – коэффициент условий по потоку насыщения (п. 3.1.1.1.1).

В случае, если  $x > 0,95$ , то расчеты следует проводить по п. 3.1.2.1.9.

### 3.1.2.1.2. Конфликтный правый поворот (14)

$$d_{14} = d_{14} + d_{14}'' + d_{14}''', \text{ а/с,}$$

где  $d_{14}'$  – удельная задержка на 1-й стоп-линии, с/а; рассчитывается по п. 3.1.2.1.1. При этом, если правоповоротный поток идет в собственной фазе, то значения  $q$ ,  $q_n$  и  $x$  определяются только для правоповоротного потока 14. Если же с одной полосы одновременно движутся транзитные и поворотные потоки, то значения  $q$ ,  $q_n$  и  $x$  определяются для суммарного потока;

$d_{14}''$  – удельная задержка на условной второй стоп-линии, образованной поворотным автомобилем, остановившемся на первой (правоповоротной) полосе входа 1 и препятствующем движению других автомобилей, с/а;

$d_{14}'''$  – удельная задержка на условной третьей стоп-линии, расположенной непосредственно перед пешеходным переходом, с/а.

Удельная задержка на условной второй стоп-линии определяется по формуле:

$$d_{14}'' = \frac{n_{o14}}{2n_{14}} \left( \frac{t_{o14}}{K_{o1}} + \frac{n_{o1} + 1}{q_{n1}} \right), \text{ с/а,}$$

В этой формуле:

$q_{н1}$  – поток насыщения на правой полосе входа 1, а/с (с.м.  $q_{н}$ , п.2.1.2.1.1);

$n_{о1}$  – фактическое число остановленных транспортных средств на условной второй стоп-линии (с учетом нарастания очереди):

$$n_{о1} = n'_{о1} \cdot K_{о1}, \text{ а/цикл,}$$

$K_{о1}$  – коэффициент приращения очереди:

$$K_{о1} = \frac{q_{н1} \cdot \lambda_1}{q_{н1} \lambda_1 - q_1},$$

где  $\lambda_1$  – доля зеленого сигнала в цикле для правой полосы на входе 1;

$q_1$  – интенсивность движения на правой полосе входа 1, а/с.

$n'_{о1}$  – номинальное число всех транспортных средств, остановленных на условной второй стоп-линии:

$$n'_{о1} = \frac{t_{о14} \cdot q_1}{\lambda_1} \geq 0, \text{ а/цикл,}$$

где  $t_{о14}$  – номинальная продолжительность существования условной второй стоп-линии:

$$t_{о14} = \Delta t_4 + t_n + \frac{n_{о4}}{i_4^* \cdot q_{н14}} - \Delta t_{о14} \geq 0, \text{ с,}$$

$\Delta t_4$  – сдвиг включения зеленого сигнала для пешеходов, с;

$q_{n14}$  – поток насыщения правоповоротного транспортного потока, а/с;

$t_n$  – продолжительность времени, занятого пешеходами на полосе движения пешеходного перехода 4, с.:

$$t_n = t_{n1} + t_{n2} - t_{nx},$$

где  $t_{n1}$  – время, занятое пешеходами одного направления;

$t_{n2}$  – время, занятое пешеходами другого (встречного) направления;

$t_{nx}$  – время перекрытия, когда оба потока одновременно находятся на одной и той же полосе.

$$t_{n1} = \frac{l_{n1} + b_{пол}}{V_n},$$

где  $b_{пол}$  – ширина полосы движения, м;

$V_n$  – скорость движения пешеходов, м/с. Принято:  $V_n = 1,33$  м/с.

$l_{n1}$  – протяженность (длина) пешеходной пачки:

$$l_{n1} = 2,4n_{n1} - 1,4, \text{ м.}$$

$n_{n1}$  – число рядов пешеходов первого направления:

$$n_{n1} = n_{nk1} + n_{nz1} \geq 1,$$

$n_{nk1}$  – расчетное число рядов пешеходов первого направления, собравшихся на красный сигнал:

$$n_{nkl} = \frac{n_{nkl} \cdot b_{\text{пеш}}}{n_{nkl} + b_{\text{пеш}} - 1} \geq 1,$$

$n_{nkl}$  – номинальное число рядов пешеходов первого направления, собравшихся на красный сигнал:

$$n_{nkl} = \frac{q_{n1} \cdot C(1 - \lambda_n)}{b_{\text{пеш}}} \geq 1,$$

$q_{n1}$  – интенсивность движения пешеходов первого направления, чел/с;

$b_{\text{пеш}}$  – ширина пешеходного перехода, м.

$\lambda_n$  – доля зеленого сигнала в цикле для пешеходов.

$n_{nz1}$  – расчетное число рядов пешеходов первого направления, подошедших к переходу во время горения зеленого сигнала:

$$n_{nz1} = \frac{q_{n1} \cdot C \cdot \lambda_n}{2}.$$

Время, занятое пешеходами встречного направления,  $t_{n2}$ , рассчитывается аналогично времени  $t_{n1}$  по величине интенсивности движения пешеходов встречного направления,  $q_{n2}$ . Для специальных расчетов можно принимать:

$$t_{n2} = t_{n1}, \text{ с. и } q_{n1} = q_{n2} = 0,5q_n, \text{ чел/с.}$$

Время перекрытия,  $t_{\text{пх}}$ , определяется по формуле:

$$t_{nx} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{S_1'' + l_{n1} - S_2'}{V_n} \\ \frac{S_2'' + l_{n2} - S_1'}{V_n} \end{array} \right. \geq 0, c,$$

где  $S_1'$  и  $S_2'$  – соответствующие расстояния от кромок тротуара с обеих сторон пешеходного перехода до «ближней» границы полосы движения, м.

$S_1''$  и  $S_2''$  – соответствующие расстояния до «дальней» границы полосы движения, м.

$i_4^*$  – расчетное число полос движения перед пешеходным переходом 4:

$$i_4^* = \sum_1^j (K_{\text{дос}} \cdot K_{\text{пот}})_j;$$

где  $j$  – номер полосы перед пешеходным переходом 4 (начиная с правой);

$K_{\text{дос}}$  – коэффициент доступности полосы накопительной площадки:

$$K_{\text{дос}} = j^{[l_{\text{отн}} - (4 + j)K_{\text{пн14}}]} \leq 1;$$

$l_{\text{отн}}$  – расстояние отнесения пешеходного перехода от кромки параллельной проезжей части, м;

$K_{\text{пн14}}$  – динамический коэффициент приведения правоповоротного транспортного потока 14;

$K_{\text{пот}}$  – коэффициент потребности полосы накопительной площадки:

$$K_{\text{ном}} \approx 0,5^{(j-1)(1-X_T)} \leq 1;$$

где  $X_T$  – условный коэффициент загрузки транспортом правой полосы перед пешеходным переходом 4:

$$X_T = \frac{q_{14}}{q_{n14} \cdot \lambda_T};$$

где  $\lambda_T$  – доля зеленого сигнала, условно принадлежащая транспорту:

$$\lambda_T = \frac{t_{z1} - t_n + 3}{C};$$

где  $t_{z1}$  – продолжительность зеленого сигнала на правой полосе, с;

$t_n$  – время, занимаемое пешеходами обоих направлений на преодоление одной полосы движения на переходе 4, с;

$n_{04}$  – число транспортных средств, остановившихся в накопительной площадке перед переходом 4 и не мешающих движению по исследуемой (правой) полосе на входе 1:

$$n_{04} = \min \begin{cases} n_{14} - n_{\delta 14} \\ n_e \cdot i_4^* \end{cases} \geq 0, \text{ а / цикл,}$$

где  $n_{14}$  – число правоповоротных транспортных средств в цикле:

$$n_{14} = q_{14} \cdot C, \text{ а / цикл;}$$

$n_e$  – число транспортных средств, которые теоретически могут разместиться на одной полосе накопительной площадки перед переходом 4:

$$n_e = \frac{l_{\text{отн}}}{5K_{\text{нн14}}}, \text{ а/цикл};$$

$n_{\delta 14}$  – число правоповоротных транспортных средств, безостановочно прошедших пешеходный переход 4 в начале горения зеленого сигнала:

$$n_{\delta 14} = \frac{q_{\text{н1}}(\Delta t_4 - t_{14})}{\eta_{14}}, \text{ а/цикл};$$

$t_{14}$  – время, затрачиваемое правоповоротными транспортными средствами на перемещение от стоп-линии 1 до пешеходного перехода 4:

$$t_{14} = \frac{S_{14}}{V_{14}}, \text{ с},$$

$S_{14}$  – расстояние между стоп-линией 1 и пешеходным переходом 4 по траектории 14, м;

$V_{14}$  – средняя скорость потока 14 по траектории  $S_{14}$ , м/с. Можно принимать:  $V_{14} \approx 0,33 \cdot R_{14}$ ,

где  $R_{14}$  – радиус поворота траектории  $S_{14}$ , м.

Для более точных расчетов значение  $V_{14}$  определяется исходя из конфигурации траектории  $S_{14}$ , начальной скорости правоповоротного потока,  $V_{014}$  (при некоординированном движении  $V_{014} = 0$ ), и ускорения потока 14, которое, примерно, равно:  $a \approx \frac{2}{K_{\text{нн14}}}$ , м/с<sup>2</sup>.

$\eta_{14}$  – отношение суммарной интенсивности движения на исследуемой полосе к интенсивности движения правоповоротного потока:

$$\eta_{14} = \frac{q_1}{q_{14}} \geq 1.$$

Должно выполняться условие:

$$0 \leq n_{\delta 14} \leq n_{14}.$$

$\Delta t_{014}$  – сдвиг начала включения условной второй стоп-линии:

$$\Delta t_{014} = \frac{1}{q_{н1}} (n_{\delta 14} + n_{04} + n_{\delta 13} + 1) \geq 0, \text{ с},$$

где  $n_{\delta 13}$  – число транзитных транспортных средств, беспрепятственно прошедших перекресток до остановки первого правоповоротного автомобиля, заблокировавшего исследуемую полосу:

$$n_{\delta 13} = \frac{(2n_{\delta 14} + 2n_{04} - 1)(\eta_{14} - 1)}{2\eta_{14}} \leq n_{13}, \text{ а/цикл};$$

где  $n_{13}$  – число транзитных транспортных средств, в цикле:

$$n_{13} = q_{13} \cdot C, \text{ а/цикл};$$

$q_{13}$  – интенсивность движения транзитного потока, а/с;

Должно выполняться условие:

$$0 \leq n_{01} \leq n_1 - n_{\delta 14} - n_{04} - n_{\delta 13}, \text{ а/цикл},$$

где  $n_{014}$  – число остановленных транспортных средств правоповоротного потока:

$$n_{014} = \frac{2n_{01} + \eta_{14} - 1}{2\eta_{14}}, \text{ а/цикл}.$$

Удельная задержка,  $d_{14}'''$ , на условной третьей стоп-линии определяется по формуле:

$$d_{14}'' = \frac{1}{n_{14}} \left( \frac{n_{04} \cdot t_{04}}{2} + n_{04}(t_n - t_{04}) + \sum_1^j \frac{n_{04j}(n_{04j} + 1)}{2q_{н14}} \right) \geq 0, \text{ с/а,}$$

при этом ни одна из составляющих формулы не может быть отрицательной.

где  $t_{04}$  – время накопления очереди  $n_{04}$ :

$$t_{04} = \Delta t_{014} - \Delta t_4 + t_{14} \leq t_n, \text{ с;}$$

$n_{04j}$  – число остановившихся в накопительной площадке транспортных средств на данной полосе:

$$n_{04j} = \frac{n_{04}(K_{\text{дос}} \cdot K_{\text{пот}})_j}{i_4^*}.$$

### 3.1.2.1.3. Конфликтный левый поворот (12)

$$d_{12} = d'_{12} + d''_{12} + d'''_{12}, \text{ с/а}$$

где  $d'_{12}$  – удельная задержка на 1-й стоп-линии. Рассчитывается аналогично  $d'_{14}$  и  $d'_{13}$  по п. 3.1.2.1.2 и п. 3.1.2.1.1, с/а;

$d''_{12}$  – удельная задержка на условной второй стоп-линии, образованной поворотным автомобилем 12, остановившемся для пропуска главного транзитного потока 31:

$$d''_{12} = \frac{n_{012}}{2n_{12}} \left( \frac{t_{012}}{K_{01}} + \frac{n_{01} + 1}{q_{н1} \cdot \beta_{12}} \right), \text{ с/а;}$$

где  $q_{н1}$  – поток насыщения на левой полосе входа 1, а/с (см.  $q_{н}$  п.2.1.2.1.1),

$q_{12}$  – интенсивность движения левоповоротного ТП, а/с;

$n_{12}$  – число левоповоротных ТС в цикле;

$$n_{12} = q_{12} \cdot C, \text{ а/с};$$

$K_{01}$  – коэффициент приращения очереди:

$$K_{01} = \frac{q_{н1} \cdot \lambda_1}{q_{н1} \cdot \lambda_1 - q_1} \geq 1$$

где  $\lambda_1$  – доля зеленого сигнала в цикле для левой полосы на входе 1;

$q_1$  – интенсивность движения на левой полосе входа 1, а/с.

$\beta_{12}$  – коэффициент ускорения рассасывания очереди левоповоротных транспортных средств:

$$\beta_{12} = 1 + \frac{B_2 - 3,5}{14\eta_{12}};$$

где  $B_2$  – ширина проезжей части на выходе 2, м;

$\eta_{12}$  – отношение суммарной интенсивности движения на исследуемой полосе  $q_1$  к интенсивности левоповоротного потока  $q_{12}$ :

$$\eta_{12} = \frac{q_1}{q_{12}} \geq 1.$$

где  $n_{01}$  – фактическое число всех транспортных средств, остановленных на условной второй стоп-линии (с учетом нарастания очереди):

$$n_{01} = n'_{01} \cdot K_{01}, \text{ а/ц}$$

где  $n'_{01}$  – номинальное число всех транспортных средств, остановленных на условной второй стоп-линии (без учета нарастания очереди):

$$n_{01} = \frac{t_{012} \cdot q_1}{\lambda_1} \leq n_1 - n_{\delta 12} - n_{\delta 13}, \text{ а/ц.}$$

$t_{012}$  – номинальная продолжительность существования условной второй стоп-линии:

$$t_{012} = \frac{(1.5 - 0.5X_{31})q_{31}^* \cdot C}{q_{н31}} \leq t_{z31} - t_{зк}, \text{ с;}$$

где  $q_{31}^*$  – наибольшая расчетная ИД на полосе транзитного потока 31, а/с;

$q_{н31}$  – поток насыщения ТП 31, а/с.

$t_{z31}$  – длительность зеленого сигнала потока 31, с;

$X_{31}$  – коэффициент загрузки расчетной (с наибольшей ИД) полосы направления 31:

$$X_{31} = \frac{q_{31}^* \cdot C}{q_{н31} \cdot t_{z31}},$$

$t_{зк}$  – время движения ТП 31 от стоп-линии на входе 3 до КФТ с левоповоротным потоком 12:

при некоординированном движении:

$$t_{зк} = \sqrt{\frac{2S_{3к}}{a_{31}}} \geq 0,09S_{3к}, \text{ с;}$$

где  $S_{3к}$  – расстояние от стоп-линии на входе 3 до КФТ, м;

$a_{31}$  – среднее ускорение потока 31:

$$a_{31} \approx \frac{2}{K_{нн31}}, \text{ м/с}^2;$$

$K_{\text{пн31}}$  – динамический коэффициент приведения ТП 31.

При координированном регулировании без внепачковых автомобилей:

$$t_{3к} = \frac{S_{3к}}{V_{кр}}, \text{ с};$$

где  $V_{кр}$  – скорость транспортного потока при координации, м/с.

$n_1$  – число транспортных средств в цикле на исследуемой полосе:

$$n_1 = q_1 \cdot C, \text{ а/ц.}$$

$n_{\delta 12}$  – число левоповоротных ТС, безостановочно прошедших КФТ в начале горения зеленого сигнала до возникновения условной второй стоп-линии:

$$0 \leq n_{\delta 12} = \frac{q_{\text{н1}}(\Delta t_{012} - t_{1к} - 1)}{n_{12}} \leq n_{12}, \text{ а/ц,}$$

где  $\Delta t_{012}$  – сдвиг начала включения условной второй стоп-линии:

$$\Delta t_{012} = \Delta t_3 + t_{3к}, \text{ с};$$

где  $\Delta t_3$  – сдвиг начала включения зеленого сигнала на входе 3 по отношению ко входу 1, с;

$t_{1к}$  – время движения ТС потока 12 от стоп-линии на входе 1 до КФТ с ТП 31:

$$t_{1к} = \sqrt{\frac{2S_{1к}}{a_{12}}} \geq 0,09S_{1к}, \text{ с} \text{ – при некоординированном движении};$$

$$t_{1к} = \frac{S_{1к}}{0,7V_{кр}} \geq 0,09S_{1к}, \text{ с} \text{ – при координированном движении};$$

$S_{1к}$  – расстояние от стоп-линии на входе I до КФТ, м

$a_{12}$  – среднее ускорение потока 12:

$$a_{12} = \frac{2}{K_{пн12}}, \text{ м/с}^2$$

$K_{пн12}$  – динамический коэффициент приведения ТП 12.

$n_{\delta 13}$  – число транзитных ТС, безостановочного прошедших перекресток до остановки первого левоповоротного автомобиля, заблокировавшего исследуемую полосу:

$$n_{\delta 13} = \frac{(2n_{\delta 12}'' - \eta_{12} + 1)(\eta_{12} - 1)}{2\eta_{12}} \leq n_{13}, \text{ а/ц},$$

$n_{13}$  – число транзитных транспортных средств в цикле:

$$n_{13} = q_{13} \cdot C, \text{ а/ц}.$$

$q_{13}$  – ИД транзитного потока на полосе, а/с.

$n_{o12}$  – число остановленных ТС левоповоротного ТП 12:

$$n_{o12} = \frac{2n_{o1} + \eta_{12} - 1}{2\eta_{12}} \geq 0, \text{ а/ц}.$$

$d_{12}$  – удельная задержка на условной третьей стоп-линии, расположенной непосредственно перед пешеходным переходом, определяется по формуле:

$$d_{12}'' = \frac{1}{2n_{12}} \left[ n_{o12}^n (2t_n - t_{o12}^n) + n_{o12}^k t_{o12}^k + \frac{n_{o12}^* (1 + n_{o12}^*)}{q_{n12} \cdot i_2^*} \right], \text{ с/а};$$

$n_{o12}^n$  – число левоповоротных ТС, безостановочно прошедших КФТ в начале зеленого сигнала до включения условной второй стоп-линии, но остановленных перед пешеходным переходом 2:

$$n_{012}^H = n_{\delta 12}^H - n_{\delta 12}, \text{ а/ц}$$

$n_{\delta 12}$  – число левоповоротных ТС, прошедших перекресток безостановочно в начале светофорного цикла:

$$n_{\delta 12} = \frac{2q_{H1} (\Delta t_2 - t_{1k} - t_{k2}) - \eta_{12} + 1}{2\eta_{12}} \leq n_{\delta 12}$$

где  $t_{012}^H$  – продолжительность нарастания очереди автомобилей  $n_{012}^H$ :

$$t_{012}^H = \Delta t_{012} + t_{k2} - \Delta t_2, \text{ с}$$

где  $t_{k2}$  – время движения левоповоротных ТС от КФТ до пешеходного перехода 2:

$$t_{k2} = \sqrt{\frac{2S_{12}}{a_{12}}} - t_{1k} \geq 0,09S_{12}, \text{ с.}$$

$S_{12}$  – расстояние между стоп-линией 1 и началом пешеходного перехода 2 по траектории движения левоповоротного ТП 12, м.

$t_{012}^K$  – продолжительность нарастания очереди автомобилей  $n_{012}^K$ :

$$t_{012}^K = \Delta t_2 + t_n - \Delta t_{012} - t_{012} - \frac{1}{q_{H12}} \geq 0, \text{ с;}$$

$n_{012}^K$  – число левоповоротных ТС, остановленных у пешеходного перехода 2 после выключения условной второй стоп-линии:

$$n_{012}^K = \frac{2t_{012}^K \cdot q_{H1} + \eta_{12} - 1}{2\eta_{12}}, \text{ а/ц.}$$

$n_{012}^*$  – расчетное число остановленных левоповоротных ТС перед пешеходным переходом 2:

$$n_{012}^* = (n_{012}^H + n_{012}^K) \leq n_{12} - n_{\delta 12}, \text{ а/ц.}$$

$i_2^*$  – расчетное число полос движения перед пешеходным переходом 2.

– если рассматривается только левоповоротный ТП 12, то  $i_2^* = i_2$ , где  $i_2$  – номинальное число полос перед переходом 2. В случаях перегрузки можно принимать:

$$i_2^* = \frac{B_2}{2,5}.$$

– если рассматривается совместное левоповоротное движение 12 и правоповоротное движение 32, то:

$$i_2^* = i_2 \frac{q_{12}}{q_{12} + q_{32}}.$$

$q_{32}$  – ИД правоповоротного потока 32, а/с.

#### *3.1.2.1.4. Совместное движение транзитных и поворотных потоков с одной полосы*

Задержки поворотных потоков рассмотрены в п.п. 3.1.2.1.2 и 3.1.2.1.3.

Удельная задержка транзитного потока 13 при одновременном движении с одной полосы с правоповоротным потоком 14 определяется по формуле:

$$d_{13}^n = d_{13}^n + d_{13}^n, \text{ с/а.}$$

где  $d_{13}^{n/}$  – удельная задержка на первой стоп-линии. Определяется по п. 3.1.2.1.1 и п.3.1.2.1.2, см.  $d_{14}^{/}$ ;

$d_{13}^{n//}$  – удельная задержка на условной второй стоп-линии:

$$d_{13}^{n//} = \frac{n_{01} - n_{014}}{2n_{13}} \left( \frac{t_{014}}{K_{01}} + \frac{n_{01} + 1}{q_{H1}} \right), \text{ с/а.}$$

Все значения параметров этой формулы определены в п. 3.1.2.1.2.

Удельная задержка транзитного потока 13 при одновременном движении с одной полосы с левоповоротным потоком 12 определяется по формуле:

$$d_{13}^n = d_{13}^n + d_{13}^n, \text{ с/а.}$$

где  $d_{13}^n/$  – удельная задержка на первой стоп-линии. Определяется по п. 3.1.2.1.1 и п.3.1.2.1.3 ( см.  $d_{12}'$ );

$d_{13}^{n//}$  – удельная задержка на условной второй стоп-линии:

$$d_{13}^{n//} = \frac{n_{01} - n_{012}}{2n_{13}} \left( \frac{t_{012}}{K_{01}} + \frac{n_{01} + 1}{q_{nl} \cdot \beta_{12}} \right), \text{ с/а.}$$

Все значения параметров этой формулы определены в п. 3.1.2.1.3.

### 3.1.2.1.5. Конфликтный разворот (11)

$$d_{13} = d_{13}' + d_{13}'', \text{ с/а;}$$

где  $d_{13}'$  – удельная задержка на первой стоп-линии; определяется по п. 3.1.2.1.1.

$d_{13}''$  – удельная задержка на условной второй стоп-линии.

При совместном транзитном и правоповоротном движении:

$$d_{13}'' = \frac{1}{q_{13}} \left[ (1 - 0,2X_1) \cdot q_{013} \cdot t_{014} + \frac{q_{013}(q_{01} \cdot C + 1)}{2q_{nl}} \right] \geq 0, \text{ с/а;}$$

где  $q_{013} = q_{13} - q_{136}$ , а/с.

Остальные параметры определены в п. 3.1.2.1.2.

При совместном транзитном и левоповоротном движении:

$$d_{13}'' = \frac{1}{q_{13}} \left[ (1 - 0,2X_1) \cdot q_{013} \cdot t_{012} + \frac{q_{013}(q_{01} \cdot C + 1)}{2q_{nl}} \right] \geq 0, \text{ с/а.}$$

Остальные параметры определены в п. 3.1.2.1.3.

При совместном транзитном, левоповоротном и правоповоротном движении последовательно определяется удельная задержка  $d_{13np}''$  только при совместном транзитном и правоповоротном движении (без учета левоповоротного) и удельная задержка  $d_{13л}''$  только при совместном транзитном и левоповоротном движении (без учета правоповоротного). Результирующая удельная задержка определяется как сумма двух задержек:

$$d_{13}'' = d_{13л}'' + d_{13np}'' \cdot c/a.$$

### 3.1.2.1.6. Отнесенный левый поворот (142)

При отнесении левого поворота транспортный поток останавливается дважды: на стоп-линии 1 и на стоп-линии 4. Удельная задержка определяется по формуле:

$$d_{142} = d_{14} + d_{42}, \text{ с/а.}$$

где  $d_{14}$  – удельная задержка правоповоротного потока на 1-й стоп-линии, с/а. В зависимости от условий движения (отсутствие или наличие пешеходов 4, либо совместное движение с одной полосы) определяется по п.п. 3.1.2.1.1, 3.1.2.1.2 либо 3.1.8.1.5.

$d_{42}$  – удельная задержка левоповоротного потока на стоп-линии 4:

$$d_{42} = \left( d_{42}' - \frac{t_{142}}{2} \right) \geq 0, \text{ с/а,}$$

где  $d_{42}'$  – удельная задержка транзитного потока с параметрами  $q_{142}$ ,  $q_{н142}$  и  $x_{142}$  на стоп-линии 4, с/а (п.3.1.2.1.1);

$t_{142}$  – среднее время передвижения ТС от стоп-линии 1 к стоп-линии 4, с. Определяется исходя из протяженности и радиусов поворота траектории движения ТС (см. п.3.1.3.2). Потери за время  $t_{142}$  будут учтены при расчете потерь от перепробега транспорта, п. 3.3.

### 3.1.2.1.7. Вторые стоп-линии

Вторые стоп-линии применяются на сложных или протяженных перекрестках для уменьшения переходного интервала или для защиты пешеходов от поворотных потоков.

Задержка на второй стоп-линии определяется по формуле:

где  $\Delta t'_2$  – номинальный сдвиг включения ЗС на 2-й стоп-линии по отношению к 1-й стоп-линии, с;

$s$  – расстояние между стоп-линиями, м;

$v$  – средняя СД между стоп-линиями, м/с;

$K_{02}$  – коэффициент приращения очереди на 2-й стоп-линии:

$$K_{02} = \frac{q_{n2}}{q_{n2} - q^*},$$

где  $q_{n2}$  – поток насыщения на второй стоп-линии, а/с;

$i$  – число полос движения, в которые выстраивается очередь ТС, движущихся на первой стоп-линии по одной полосе. Например, при поворотном движении транспортные средства с одной полосы на 1-й стоп-линии могут сразу занимать 2 или 3 полосы перед 2-й стоп-линией.

$d'_0$  – средняя задержка остановленного ТС переднего фронта, с/а:

$$d'_0 = \frac{\Delta t'}{2} + \frac{q'_0 \cdot C + 1}{2q_{n2}},$$

$q''_0$  – ИД остановленных ТС заднего фронта, а/с:

$$q''_0 = q^* (\Delta t'' - 1),$$

где  $\Delta t''$  – останавливающий сдвиг выключения ЗС на 2-й стоп-линии по заднему фронту, с:

$$\Delta t'' = \frac{s}{v} - \Delta t'_2,$$

где  $\Delta t'_2$  – номинальный сдвиг выключения ЗС на 2-й стоп-линии по отношению к 1-й стоп-линии, с;

$d''_0$  – средняя задержка остановленного ТС заднего фронта, с/а:

$$d''_0 = C(1 - \lambda_2) - \frac{\Delta t''}{2} + \frac{q''_0 \cdot C + 1}{2q_{n2}},$$

где  $\lambda_2$  – доля ЗС на второй стоп-линии.

где  $\Delta t''$  – останавливающий сдвиг выключения ЗС на 2-й стоп-линии по заднему фронту, с:

$$\Delta t'' = \frac{s}{v} - \Delta t_2'',$$

где  $\Delta t_2''$  – номинальный сдвиг выключения ЗС на 2-й стоп-линии по отношению к 1-й стоп-линии, с;

$d_0''$  – средняя задержка остановленного ТС заднего фронта, с/а:

$$d_0'' = C(1 - \lambda_2) - \frac{\Delta t''}{2} + \frac{q_0'' \cdot C + 1}{2q_{н2}},$$

где  $\lambda_2$  – доля ЗС на второй стоп-линии.

### 3.1.2.1.8. Отнесение стоп-линии

Увеличение экономических потерь объясняется тем, что время, необходимое ТС для преодоления дополнительного расстояния, является потерянным в цикле и фактически вычитается из продолжительности горения ЗС. Существует несколько вариантов распределения потерянного времени при отнесении стоп-линии – либо оно отнимается у конфликтующего потока, либо увеличивается переходный интервал, либо увеличивается продолжительность СФЦ и т.д. Принято:

$$d = d_s \cdot \Delta S, \text{ с/а,}$$

где  $d_s$  – удельная задержка на 1 м отнесении стоп-линии:

$$d_s \approx 0.2c \cdot a \cdot m;$$

$\Delta S$  – отнесение стоп-линии, м:  $\Delta S = S_\phi - S_n$ ,

где  $S_\phi$  – фактическое расстояние от стоп-линии до границы пересекаемой проезжей части или наземного пешеходного перехода, м;

$S_n$  – нормативное расстояние от стоп-линии до границы пересекаемой ПЧ или наземного пешеходного перехода, м:

$S_n = 10$  м – если СФ расположен над проезжей частью;

$S_n = 3$  м – если СФ расположен сбоку от ПЧ.

### 3.1.2.1.9. Перегрузка

Под перегрузкой будем понимать такое кратко- или среднесрочное состояние конфликтного объекта, при котором коэффициент

загрузки полосы движением превышает нормативно допустимые значения ( $x > 0,95$ ) и на отдельных полосах или направлениях образуются непрекращающиеся очереди ТС.

Различают пиковый,  $T_0$ , и неиковый,  $(T - T_0)$ , периоды работы светофорного объекта. Результирующая удельная задержка на первой стоп-линии определяется как средневзвешенное значение удельных задержек для обоих периодов:

$$d' = \frac{d'_1(T_1 - T_0) + d'_0 \cdot T}{T_1}, \text{ с/а,}$$

где  $d'_1$  – удельная задержка за неиковый период, с/а. Определяется по п. 3.1.2.1.1

$T_1$  – продолжительность (расчетная) существования транспортной нагрузки, час/сут. Напомним, что при  $\Phi_s = 4200$  ч/год  $T_1 = 14$  ч/сут, при  $\Phi_s = 3600$  ч/год  $T_1 = 12$  ч/сут, при  $\Phi_s = 2500$  ч/год  $T_1 = 10$  ч/сут.

$T_0$  – продолжительность пикового периода, час/сут. Определяется экспериментально.

$d'_0$  – удельная задержка за пиковый период, с/а. Она рассчитывается по формуле Брилона и Ву [9]:

$$d'_0 = \frac{C(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda x)} + \frac{N_0}{q_n \lambda},$$

где  $C$  – продолжительность СФЦ, с;

$\lambda$  – доля ЗС в цикле;

$x$  – коэффициент загрузки полосы движением:

$$x = \frac{q}{\lambda \cdot q_n},$$

где  $q$  – ИД, замеряемая до (в пространстве, т.е. там, где еще нет затора) образовавшейся очереди автомобилей, а/с;

$q_n$  – поток насыщения, а/с;

$N_0$  – средняя длина очереди перед стоп-линией в течение пикового периода,  $T_0$ , авт.

$$N_0 = 524 \cdot T_0 \cdot q_n \cdot \lambda \left[ 1,09 \cdot x - 1 + \sqrt{(1,09 \cdot x - 1)^2 + \frac{1,09 \cdot x - x_0}{175 \cdot q_n \cdot \lambda}} \right]$$

при  $x < 1,14$ ;

$$N_0 = 900 \cdot T_0 \cdot q_n \cdot \lambda \left[ x - 1 + \sqrt{(x-1)^2 + \frac{x - 0,92 \cdot x_0 - 0,08}{300 \cdot q_n \cdot \lambda}} \right]$$

при  $x \geq 1,14$ .

В этой формуле:

$x_0$  – значение коэффициента  $x$ , выше которого будут ожидать перенасыщенные циклы:

$$x_0 \approx 0,67 + \frac{q_n \cdot \lambda \cdot C}{600};$$

$T_0, q_n, \lambda, x$  – определены ранее.

### 3.1.2.2. Адаптивное регулирование

Оно включает адаптацию без изменения и с изменением продолжительности СФЦ.

#### 3.1.2.2.1. Адаптивное регулирование без изменения продолжительности СФЦ

Удельная задержка адаптируемого направления (вход 1) определяется по формуле:

$$d'_1 = d'_{1(z \min)} \cdot P_{1(z \min)} + d'_{1(z \max)} \cdot [1 - P_{1(z \min)}], \text{ с/а,}$$

где  $d'_{1(z \min)}$  – удельная задержка для состояния  $z_{\min}$ , а/с. Определяется по п.3.1.2.1.1.

$P_{1(z \min)}$  – вероятность состояния  $z_{\min}$  (вероятность появления интервала  $T > T_{\min}$  в потоке  $q$ ):

$$P_{1(z \min)} = e^{-qT_{\min}},$$

где  $q$  – ИД на полосе а/с;

$T_{\min}$  – расчетное значение интервала (разрыва) в потоке  $q$ , при котором ЗС в данном направлении выключается, с. При отсутствии иных данных можно принимать  $T_{\min} = 4с$ .

$d'_{1(z \max)}$  – удельная задержка для состояния  $z_{\max}$ , с. Определяется по п.3.1.2.1.1.

Удельная задержка неадаптируемого направления (вход 2) при двухфазном цикле определяется по формуле:

$$d'_2 = d'_{2t_{z\max}} \cdot P_{1(t_{z\min})} + d'_{2t_{z\min}} \cdot [1 - P_{1(t_{z\min})}], \text{ с/а.}$$

Следует учитывать, что при состоянии  $t_{z\min}$  для направления 1, в направлении 2 будет состояние  $t_{z\max}$ , и наоборот.

### 3.1.2.2.2. Адаптивное регулирование с изменением продолжительности СФЦ

Удельная задержка адаптируемого направления (вход 1) определяется по формуле:

$$d'_1 = d'_{1t_{z\min}} \cdot P_{1(t_{z\min})} + d'_{1t_{z\max}} \cdot [1 - P_{1(t_{z\min})}], \text{ с/а,}$$

где  $d'_{1t_{z\min}}$  – удельная задержка для состояния  $t_z = t_{z\min}$  и  $C = C_{\min}$ , с/а (п.3.1.2.1.1);

$d'_{1t_{z\max}}$  – удельная задержка для состояния  $t_z = t_{z\max}$  и  $C = C_{\max}$ , с/а (п.3.1.2.1.1);

$P_{1(t_{z\min})}$  – см. п.3.1.2.1.1.

Удельная задержка неадаптируемого направления (вход 2) при двухфазном цикле определяется по формуле:

$$d'_2 = d'_{2C_{\min}} \cdot P_{1(t_{z\min})} + d'_{2C_{\max}} \cdot [1 - P_{1(t_{z\min})}], \text{ с/а,}$$

где  $d'_{2C_{\min}}$  – удельная задержка неадаптируемого направления при состоянии  $t_{z2}$  и  $C_{\min}$ , с/а;

$d'_{2C_{\max}}$  – удельная задержка неадаптируемого направления при состоянии  $t_{z2}$  и  $C_{\max}$ , с/а.

### 3.1.2.3. Координированное регулирование

Удельная задержка координированного транзитного направления определяется по формуле:

$$d'_1 = \frac{1}{2q} \cdot \left[ C \cdot q_0 \cdot (1 - \lambda) + \frac{q_0 \cdot C + 1}{q_n \cdot C} \right], \text{ с/а,}$$

где  $q$  – ИД на полосе координируемого направления, а/с;

$C$  – продолжительность СФЦ, с;

$\lambda$  – доля ЗС в цикле;

$q_n$  – поток насыщения, а/с;

$q_0$  – ИД остановленного транспорта на полосе, а/с. Определяется экспериментально. При отсутствии иных данных величину  $q_0$  можно определить, исходя из картограммы интенсивности и плана координации, считая, что все потоки (транзитные и поворотные на магистраль) движутся со скоростью координации.

Удельная задержка некоординированных направлений, а также удельная задержка ( $d'_{12}$ ,  $d''_{12}$ ,  $d''_{14}$ ) конфликтных поворотных потоков координированного направления определяются по соответствующим пунктам 3.1.2.1.1. ... 3.1.2.1.5.

### 3.1.3. ЛИНЕЙНЫЕ ОБЪЕКТЫ

Задержки транспорта на линейных объектах могут быть вызваны различными причинами. В методике рассматриваются 9 расчетных случаев: *общее снижение скорости, поворот, подъем, сужение полосы, запрещение обгона, транспортная нагрузка, перегрузка, смена полосы движения и обгон*. Поскольку рассматриваются линейные объекты, то в расчете потерь обязательно участвует протяженность исследуемого объекта, и удельная задержка имеет размерность с/а.км, а скорость движения принимается в км/ч.

Годовые потери определяются для каждой полосы движения по формуле:

$$Pd = \frac{d_s}{3600} \cdot Q \cdot K_{нэ} \cdot \Phi_2 \cdot S \cdot C_d, \text{ у.е./год,}$$

где  $d_s$  – удельная задержка, с/а · км;

$S$  – протяженность исследуемого объекта, км.

Остальные величины определены в п. 3.1.1.

### 3.1.3.1. Общее снижение скорости

Удельная задержка определяется по формуле:

$$d_s = \left( \frac{1}{V} - \frac{1}{V_n} \right) \cdot 3600, \text{ с/а.км,}$$

где  $V$  – СД исследуемого транспортного потока, км/ч;

$V_n$  – СД нормативная (эталонная), км/ч. При отсутствии иных данных можно принимать:  $V_n = 30$  км/ч – жилая зона;  $V_n = 60$  км/ч – город;  $V_n = 90$  км/ч – загород.

Поскольку снижение скорости может иметь временный характер, то расчетчик должен обращать особое внимание на величину годового фонда времени,  $\Phi_s$ .

### 3.1.3.2. Кривые в плане на двухполосных дорогах

Расчет удельной задержки производится по п.3.1.3.1. При этом скорость  $V$ , если нет иных данных, определяется по формулам:

$$V \approx 1,2R \leq 60 \text{ км/ч – город;}$$

$$V \approx V_n - \frac{2236}{R} \leq 90, \text{ км/ч – загород,}$$

где  $R$  – радиус поворота траектории движения, м:

$R > 8$  м – город;  $R > 100$  м – загород.

### 3.1.3.3. Затяжной (не менее 500м) подъем на двухполосных дорогах

Расчет удельной задержки производится по п.3.1.3.1.

Скорость движения,  $V$ , определяется по формуле:

$$V \approx V_n - (\alpha^\circ)^2 \cdot \frac{\sqrt{K_{nn}}}{1,5}, \text{ км/ч,}$$

где  $\alpha^\circ$  – угол подъема, град.

### 3.1.3.4. Сужение полосы

Расчет удельной задержки производится по п.3.1.3.1.

При этом, скорость движения,  $V$ , определяется по формуле:

$$V \approx 67 \cdot (B - 0,3 - 1,7 \cdot \sqrt{K_{nn}}) \leq V_n, \text{ км/ч,}$$

где  $B$  – ширина полосы движения, м;

Напомним, что при  $B < 2,5$  м движение большегрузных автомобилей, автопоездов и автобусов невозможно. При  $B < 2,0$  м невозможно движение грузовых автомобилей.

### 3.1.3.5. Запрещение обгона

Расчет удельной задержки производится по п. 3.1.3.1. При этом, на протяженных (свыше 1 км) участках с запрещенным обгоном СД определяется по формуле:

$$V = V_n - 0,02 \cdot Q \cdot \sqrt{K_{nn}}, \text{ км/ч,}$$

где  $Q$  – ИД на полосе в данном направлении, а/ч;

$K_{nn}$  – динамический коэффициент приведения ТП.

### 3.1.3.6. Транспортная нагрузка

Расчет удельной задержки производится по п. 3.1.3.1.

При этом, СД для некоординированных направлений можно определить по формуле:

$$V = V_n - 0,02 \cdot Q \cdot \sqrt{K_{nn}}, \text{ км/ч.}$$

где  $Q$  – ИД на полосе в данном направлении, а/ч.

### 3.1.3.7. Перегрузка

Под перегрузкой будем понимать транспортные затруднения на нормальном участке дороги, заключающиеся в резком падении СД,

тофорный объект или иной конфликтный объект, вынуждающий ТП снижать скорость или останавливаться). Удельная задержка на критическом участке,  $d_2$ , и удельная задержка на участке перегрузки в период ее существования,  $d_0$ , определяется по формуле:

$$d_2 = d_0 = \left( \frac{1}{V_2} - \frac{1}{V_n} \right) \cdot 3600, \text{ с/а} \cdot \text{км},$$

где  $V_2$  – СД на критическом участке, км/ч.

Протяженность участка перегрузки,  $S_0$ , определяется по формуле:

$$S_0 = \frac{Q_1 - Q_2}{\rho_2 - \rho_1} \cdot T_0, \text{ км},$$

где  $Q_1$  – средняя ИД на полосе на участке за период отсутствия перегрузки а/ч;

$\rho_1$  – средняя плотность ТП за период отсутствия перегрузки, а/км:

$$\rho_1 = \frac{Q_1}{V_1}, \text{ а/км},$$

где  $V_1$  – СД на участке перед затором, км/ч;

$\rho_2$  – плотность ТП на критическом участке, а/км. При отсутствии иных данных можно принимать:

$$\rho_2 = \frac{1000}{K_{nn} \cdot \left( 7 + \frac{V_2}{3,6} + \frac{V_2^2}{868 \cdot \varphi_2} \right)}, \text{ а/км},$$

где  $\varphi_2$  – коэффициент сцепления на критическом участке;

$V_2$  – СД на критическом участке, км/ч;

$Q_2$  – ИД на полосе на критическом участке, а/ч:  $Q_2 = V_2 \cdot \rho_2$ ,

$T_0$  – средняя суточная продолжительность существования перегрузки, час/сут. Определяется экспериментально или задается расчетчиком

Удельная задержка на участке  $S_0$  в период отсутствия перегрузки,  $d_1$ , определяется по формуле:

$$d_1 = \left( \frac{1}{V_1} - \frac{1}{V_n} \right) \cdot 3600, \text{ с/а} \cdot \text{км.}$$

Результирующая удельная задержка на участке перегрузки,  $d_{01}$ , определяется по формуле:

$$d_{01} = \frac{d_0 \cdot T_0 + d_1 \cdot (T_1 - T_0)}{T_1}, \text{ с/а} \cdot \text{км,}$$

где  $T_1$  – расчетная продолжительность существования транспортной нагрузки на участке  $S_0$ , ч/сут. (Напомним, что  $T_1 = 14$  ч/сут при  $\Phi_z = 4200$  ч/час,  $T_1 = 12$  ч/сут при  $\Phi_z = 3600$  ч/час,  $T_1 = 10$  ч/сут при  $\Phi_z = 2500$  ч/час).

### 3.1.3.8. Смена полосы движения (перестроение)

$$d = \frac{278 \cdot q_F \cdot q_S \cdot (V_F - V_S) \cdot e^{qT} - qT - 1}{(q_F + q_S) \cdot V_F \cdot V_S \cdot q}, \text{ с/а*км,}$$

где  $q_S$  – ИД «медленных» транспортных средств, а/с (как правило, ИД на правой полосе);

$q_F$  – ИД «быстрых» транспортных средств, а/с (как правило, ИД на левой полосе);

$V_F$  – СД «быстрых» транспортных средств, км/ч;

$V_S$  – СД «медленных» транспортных средств, км/ч;

$q$  – ИД на полосе, в которую совершается маневр, а/с;

$T$  – приемлемый интервал в ТП на полосе, в которую совершается маневр, с:  $T \approx 3\sqrt{K_{mn}}$ .

При отсутствии иных данных можно принимать:

При отсутствии иных данных можно принимать:

$V_F = 80$  км/ч;  $V_S = 60$  км/ч – загород;  $V_F = 60$  км/ч;  $V_S = 45$  км/ч – город.  $q_F : q_S \approx 1 \dots 2$ .

Следует отметить, что удельная задержка при смене полосы движения весьма незначительна.

### 3.1.3.9. Обгон на двухполосных дорогах

$$d = \frac{3600 \cdot q_F \cdot q_S \cdot (V_F - V_S)^2}{V_F \cdot V_S \cdot (q_F + q_S) \cdot (V_F + V_S)} \cdot \frac{e^{qT} - qT - 1}{q} \leq 3600 \left( \frac{1}{V_S} - \frac{1}{V_F} \right), \text{ с/а*км,}$$

где  $T$  – приемлемый интервал при обгоне, с. При отсутствии иных данных можно принимать:

$$T \approx \left( \frac{V_H + V_F}{V_H} \cdot \frac{2 \cdot V_F + 18 \cdot K_{нн}}{V_F - V_S} \right) \cdot 1,05^{0,1(V_H - 60)}, \text{ с,}$$

где  $V_H$  – нормативная СД, км/ч. Напомним, что  $V_H = 60$  км/ч. – в городе и  $V_H = 90$  км/ч. – за городом.

$q_F, q_S, V_F, V_S, q$  – определены в п. 3.1.3.8.

### 3.1.4. ЛИНЕЙНЫЙ УЧАСТОК ДОРОГИ

Он включает конфликтные и линейные объекты. Для линейных участков рассчитываются годовые потери от задержек транспорта, движущегося по участку и выходящего с него. Потери транспорта, входящего на участок или пересекающего его, как правило, не учитываются.

Суммарные потери на участке определяются как сумма потерь на каждом объекте:

$$\Pi_{d\Sigma} = \sum_1^i \Pi_{di}, \text{ у.е./год,}$$

где  $\Pi_{di}$  – годовые потери от задержек на  $i$ -том объекте, у.е./год.

При этом, для протяженных участков потери транспорта от движения по самим конфликтным объектам могут не учитываться ввиду относительно малой протяженности этих объектов (т.е. учитываются только задержки на 3-х стоп-линиях, а задержки при перемещении между этими стоп-линиями фактически не учитываются). Для небольших линейных участков эти потери можно учитывать, считая их по п.3.1.3.1. и определяя протяженность участков из масштабного плана конфликтных объектов. При этом, если нет иных данных, скорость движения по конфликтным объектам можно принимать:

- главные транзитные направления нерегулируемого конфликтного объекта: искомая скорость равна скорости предыдущего линейного объекта  $V_{л\text{ТРЗ}} \approx V_{i-1}$ , км/ч;

- второстепенное транзитное направление нерегулируемого перекрестка:  $V_2 \approx 35$  км/ч;

- поворотные направления на перекрестках:

$$V_{нов} \approx 1,2R \leq 40 \text{ км/ч,}$$

где  $R$  – радиус поворота, м.

- кольцевые перекрестки:

$$V \approx 1,2 \cdot R_0 \leq V_n \text{ км/ч,}$$

где  $R_0$  – радиус центрального островка, м;

$V_n$  – нормативная СД, км/ч;

- координированные направления на конфликтных объектах: искомая скорость равна скорости координации на предыдущем перегоне:  $V_{л\text{ТРЗ}} \approx V_{i-1}$ ;

- некоординированные направления регулируемых перекрестков:  $V \approx 35$  км/ч;

- регулируемые (охраняемые) ж/д проезды:  $V \approx 20$  км/ч.

## 3.2. ОСТАНОВКИ ТРАНСПОРТА

Остановки транспорта имеют место на нерегулируемых и регулируемых конфликтных объектах, а также на линейных объектах в

случае перегрузки. Как правило, потери от остановки транспорта рассчитываются отдельно для каждой полосы движения, а результаты суммируются.

### 3.2.1. **НЕРЕГУЛИРУЕМЫЕ КОНФЛИКТНЫЕ ОБЪЕКТЫ**

Они включают нерегулируемые перекрестки, кольцевые перекрестки и нерегулируемые пешеходные переходы.

Годовые потери от остановок транспорта определяются по формуле:

$$П_0 = e_0 \cdot Q \cdot K_{нз} \cdot \Phi_2 \cdot C_0, \text{ у.е./год,}$$

где  $e_0$  – удельное число остановок, ост/а;

$C_0$  – стоимость одной остановки легкового автомобиля, у.е./ост.

Принято:  $C_0=0,02$  у.е./ост.

Величины  $Q, K_{нз}, \Phi_2$  – см. п.3.1.1.

#### 3.2.1.1. **Нерегулируемые перекрестки**

Вероятность остановки ВКП определяется по формуле:

$$e_0 = e'_0 = 1 - \frac{1}{e^{(2,5q_2+2qT)} - e^{2qT} + e^{qT}}, \text{ ост/а, } 0 \leq e'_0 \leq 1$$

где  $q$  – ИД главного конфликтующего потока, а/с (см. п.3.1.1.1.1);

$q_2$  – ИД исследуемого второстепенного конфликтующего потока, а/с;

$T$  – приемлемый интервал в ГКП, с. При отсутствии иных данных можно принимать:

– левоповоротный поток:

$$T \approx \frac{5+i}{2} \cdot \sqrt{K_{нз2}} \cdot 1,05^{0,1(V_1-60)}, \text{ с;}$$

– второстепенный правоповоротный и главный разворотный потоки:

$$T \approx \frac{8+i}{2} \cdot \sqrt{K_{нз2}} \cdot 1,05^{0,1(V_i-60)}, \text{ с;}$$

– второстепенный транзитный поток:

$$T \approx \frac{6+i}{2} \cdot \sqrt{K_{\text{пн2}}} \cdot 1,05^{0,1(V_1-60)}, \text{ с.}$$

При конфликте с пешеходами, которым необходимо уступить дорогу (например, при поворотах), вероятность остановки определяется по формуле:

$$e_0''' = 1 - \frac{1}{e^{(2,5 \cdot q_2 + 2 \cdot q_n T_n)} - e^{2 \cdot q_n T_n} + e^{q_n T_n}}, \text{ ост/а, } 0 \leq e_0''' \leq 1,$$

где  $q_n$ ,  $q_2$  и  $T_n$  – определены в п. 3.1.1.1.1.

### 3.2.1.2. Кольцевые перекрестки

Вероятность остановки при въезде на КПК с регулированием по типу «Кольцо главное» определяется по формуле:

$$e_0' = 1 - \frac{1}{e^{(2,5 \cdot q_2 + 2 \cdot q T)} - e^{2 \cdot q T} + e^{q T}}, \text{ ост/а, } 0 \leq e_0' \leq 1,$$

где  $q$  – ИД главного конфликтующего потока (движущегося по кольцу), а/с;

$q_2$  – ИД второстепенного конфликтующего потока (входящего в кольцо), а/с;

$T$  – приемлемый интервал, с (см. п. 3.1.1.2.1).

Вероятность остановки при движении на КПК с регулированием по типу «Отсутствие помехи справа»,  $e_0''$ , определяется по той же формуле, при этом:

$$0 \leq e_0'' \leq (i-1),$$

где  $i$  – число входов в КПК, последовательно проезжаемых исследуемым потоком  $q_2$ ;

$q$  – ИД главного конфликтующего потока, а/с (входящих на кольцевой перекресток).

Вероятность остановки на выезде из КПК перед пешеходами для обоих типов регулирования определяется по формуле:

$$e_0''' = \left[ 1 - \frac{1}{e^{(2,5 \cdot q_2 + 2 \cdot q_n T_n)} - e^{2 \cdot q_n T_n} + e^{q_n T_n}} \right] \cdot K_{np}, \text{ ост/а,}$$

$$0 \leq e_0''' \leq 1,$$

где  $K_{np}$  – коэффициент приоритета, см. п.3.1.1.3;

$q_2$  – ИД исследуемого транспортного потока, а/с;

$q_n$  и  $T_n$  – определены в п. 3.1.1.1.1.

Как указывалось в п. 3.1.1.2.1 и 3.1.1.2.2, в сложившейся практике движения на КПК, вероятность остановки перед пешеходами чрезвычайно мала и  $e_0''' \rightarrow 0$ .

### 3.2.1.3. Пешеходные переходы

При конфликте с пешеходами, которым необходимо уступать дорогу (например, при поворотах), вероятность остановки определена в п. 3.2.1.1. При конфликте с пешеходами, на которых пешеходы обязаны уступать дорогу (например, на перегонах) из-за нечеткости Правил также возможна ситуация, когда транспорт вынужден останавливаться. Отсутствие четкого приоритета не позволяет однозначно рассчитать вероятность остановки. Предлагается расчеты временно производить по п.3.2.1.2, расчет  $e_0'''$ .

## 3.2.2. РЕГУЛИРУЕМЫЕ КОНФЛИКТНЫЕ ОБЪЕКТЫ

### 3.2.2.1. Жесткое локальное регулирование

#### 3.2.2.1.1. Транзитное направление (13)

Вероятность остановки определяется по формуле:

$$e'_{01} = (1 - \lambda - K_{OC}) \cdot K_O, \text{ ост/а,}$$

где  $\lambda$  – доля ЗС в цикле;

$K_\theta$  – коэффициент приращения очереди:

$$K_o = \frac{q_n}{q_n - q},$$

где  $q_n$  – поток насыщения а/с;

$q$  – ИД исследуемого потока, а/с.

$K_{oc}$  – коэффициент снижения очереди. Учитывает взаимодействие прибывающих ТС с сигналами СФ и несколько снижает расчетную долю запрещающего сигнала в цикле. Зависит от продолжительности ЖС и общей продолжительности предупреждения о предстоящей смене сигналов СФ. При отсутствии иных данных в случае  $t_{жс}=3$ ;  $t_{зис}=3$  и  $t_{(к+жс)}=3$ , можно принимать:

$$K_{oc} \approx \frac{4}{C}.$$

### 3.2.2.1.2. Конфликтный правый поворот (14)

$$e_{014} = e_{014} + e_{014}'' + e_{014}''', \text{ ост/а,}$$

где  $e_{014}'$  – удельная остановка на 1-й стоп-линии, ост/а – см. п. 3.2.2.1.1.

$e_{014}''$  – удельная остановка на условной 2-й стоп-линии:

$$e_{014}'' = \frac{n_{014}}{n_{14}}, \text{ ост/а; (см. п.3.1.2.1.2)}$$

$e_{014}'''$  – удельная остановка на условной 3-й стоп-линии перед пешеходами:

$$e_{014}''' = \frac{n_{04}}{n_{14}}, \text{ ост/а (см. п.3.1.2.1.2)}$$

### 3.2.2.1.3. Конфликтный левый поворот (12)

$$e_{012} = e'_{012} + e''_{012} + e'''_{012},$$

где  $e'_{012}$  – удельная остановка на первой стоп-линии, ост/а – см.

#### п. 3.2.2.1.1.

$e''_{012}$  – удельная остановка на условной второй стоп-линии:

$$e''_{012} = \frac{n_{012}}{n_{12}}, \text{ ост/а (см. п.3.1.2.1.3).}$$

$e'''_{012}$  – удельная остановка на условной третьей стоп-линии перед пешеходами:

$$e'''_{012} = \frac{n_{012}^*}{n_{12}}, \text{ ост/а (см. п.3.1.2.1.3).}$$

### 3.2.2.1.4. Совместное движение транзитных и поворотных потоков с одной полосы

Остановки поворотных потоков рассмотрены в п. 3.2.2.1.2 и 3.2.2.1.3.

Удельная остановка транзитного потока 13 при одновременном движении с одной полосы с правоповоротным потоком 14 определяется по формуле:

$$e_{013}^n = e_{013}^{n'} + e_{013}^{n''}, \text{ ост/а.}$$

где  $e_{013}^{n'}$  – удельная остановка на первой стоп-линии, ост/а, определяется по п. 3.2.2.1.1 и 3.2.2.1.2, см.  $e_{014}'$ .

$e_{013}^{n''}$  – удельная остановка на условной второй стоп-линии:

$$e_{013}^{п//} = \frac{n_{01} - n_{014}}{n_{13}}, \text{ ост/а (см. п.3.1.2.1.2).}$$

Удельная остановка транзитного потока 13 при одновременном движении с одной полосы с левоповоротным потоком 12 определяется по формуле:

$$e_{013}^{л} = e_{013}^{л'} + e_{013}^{л//}, \text{ ост/а,}$$

где  $e_{013}^{л'}$  – удельная остановка на первой стоп-линии, ост/а, определяется по п. 3.2.2.1.1 и 3.2.2.1.2, см.  $e_{012}^{л'}$ .

$e_{013}^{л//}$  – удельная остановка на условной второй стоп-линии:

$$e_{013}^{л//} = \frac{n_{01} - n_{012}}{n_{13}}, \text{ ост/а (см. п.3.1.2.1.3).}$$

#### 3.2.2.1.5. Конфликтный разворот (11)

$$e_{011} = e_{011}^{л'} + e_{011}^{л//}, \text{ ост/а,}$$

где  $e_{011}^{л'}$  – удельная остановка у первой стоп-линии, ост/а – см. п. 3.2.2.1.1.

$e_{011}^{л//}$  – удельная остановка перед ГКП ост/а, (см. п. 3.2.2.1.3, параметр  $e_{012}^{л//}$ . При этом T – приемлемый интервал, с; см. п.3.1.1.1.3 или п.3.2.1.1).

#### 3.2.2.1.6. Отнесенный левый поворот (142)

$$e_{0142} = e_{01}^{л'} + 0,85, \text{ ост/а,}$$

где  $e_{01}^{л'}$  – удельная остановка у 1-й стоп-линии, ост/а (см. п. 3.2.2.1.1).

### 3.2.2.1.7. Остановки на 2-й стоп линии

$$e'_{02} = \frac{q'_0 + q''_0}{q}, \text{ ост/а,}$$

где  $q'_0$ ,  $q''_0$ ,  $q$ ,  $C$  – определены в п.3.1.2.1.7.

### 3.2.2.1.8. Отнесение стоп-линии

Увеличение остановок объясняется фактическим уменьшением доли ЗС в цикле,  $\lambda$ . Принято:

$$e_0 = e_{0s} \cdot \Delta S, \text{ ост/а,}$$

где  $e_{0s}$  – удельная остановка на 1м отнесении стоп-линии,  $e_{0s} \approx 0,02$  ост/а · м;

$\Delta S$  – отнесение стоп-линии, м (см. п.3.1.2.1.8).

### 3.2.2.1.9. Перегрузка

Результирующая удельная остановка определяется по формуле:

$$e'_0 = \frac{e'_{00} \cdot T_0 + e'_{01} \cdot (T_1 - T_0)}{T_1}, \text{ ост/а,}$$

где  $e'_{01}$  – удельная остановка для непикового периода, ост/а, см. (п.3.2.2.1.1);

$e'_{00}$  – удельная остановка для пикового периода, ост/а:

$$e'_{00} = \frac{N_0}{\lambda \cdot C \cdot q_n},$$

где  $N_0$ ,  $\lambda$ ,  $C$ ,  $q_n$  – определены в п.3.1.2.1.9;

$T_1$  и  $T_0$  – определены в п.3.1.2.1.9.

### 3.2.2.2. Адаптивное регулирование

#### 3.2.2.2.1. Адаптивное регулирование без изменения продолжительности СФЦ

Удельная остановка адаптируемого направления определяется по формуле:

$$e'_{01} = e'_{01tz\ min} \cdot P_{(tz\ min)} + e'_{01tz\ max} (1 - P_{tz\ min}), \text{ ост/а,}$$

где  $e'_{01tz\ min}$  – удельная остановка для состояния  $t_{z\ min}$ , ост/а (п.3.2.2.1.1);

$e'_{01tz\ max}$  – удельная остановка для состояния  $t_{z\ max}$ , ост/а (п.3.2.2.1.1);

$P_{tz\ min}$  – вероятность состояния  $t_{z\ min}$  (п.3.1.2.1.2).

Удельная остановка неадаптируемого направления:

$$e'_{02} = e'_{02tz\ max} \cdot P_{tz\ min} + e'_{02tz\ min} \cdot (1 - P_{tz\ min}), \text{ ост/а.}$$

#### 3.2.2.2.2. Адаптивное регулирование с изменением продолжительности СФЦ

Удельная остановка адаптируемого направления определяется по формуле:

$$e'_{01} = e'_{01tz\ min} \cdot P_{tz\ min} + e'_{01tz\ max} \cdot (1 - P_{tz\ min}), \text{ ост/а,}$$

где  $e'_{01tz\ min}$  – удельная остановка для состояния  $t_z = t_{z\ min}$  и  $C = C_{min}$ , ост/а (п.3.2.2.1.1.);

$e'_{01tz\ max}$  – удельная остановка для состояния  $t_z = t_{z\ max}$  и  $C = C_{max}$ , ост/а (п.3.2.2.1.1.);

$P_{tz\ min}$  – см. п.3.2.2.2.1.

Удельная остановка неадаптированного направления (при двух-фазном цикле) определяется по формуле:

$$e'_{02} = e'_{02C_{min}} \cdot P_{tz_{min1}} + e'_{02C_{max}} \cdot (1 - P_{tz_{min1}}),$$

где  $e'_{02C_{min}}$  и  $e'_{02C_{max}}$  – удельные остановки неадаптированного направления для состояний  $C_{min}$  и  $C_{max}$ , ост/а.

### 3.2.2.2.3. Координированное регулирование

Удельная остановка координируемого направления определяется по формуле:

$$e'_{01} = \frac{q_0}{q}, \text{ ост/а,}$$

где  $q$  и  $q_0$  – определены в п. 3.1.2.3.

Удельная остановка некоординируемых поворотных потоков координируемого направления, а также некоординированных направлений определяется по соответствующим пунктам 3.2.2.1.2 ... 3.2.2.1.5.

## 3.2.3. ЛИНЕЙНЫЕ ОБЪЕКТЫ

### 3.2.3.1. Перегрузка

Удельная остановка за время перегрузки определяется по формуле:

$$e_{00} = \frac{\Delta_n \cdot S_0 \cdot \rho_2 \cdot Q_1}{2 \cdot Q_2}, \text{ ост/а,}$$

где  $\Delta_n$  – доля нарушителей Правил (неправильный обгон или объезд) при возникновении заторов. При отсутствии иных данных можно принимать:  $\Delta_n = 0,01 \dots 0,1$ . При этом большие значения следует принимать при полном отсутствии контроля за движением, меньшие – при наличии такого контроля.

$S_0$ ,  $\rho_2$ ,  $Q_1$  и  $Q_2$  – см. п. 3.1.3.7.

### 3.2.4. ЛИНЕЙНЫЙ УЧАСТОК ДОРОГИ

Он включает конфликтные и линейные объекты. Потери от остановок рассчитываются для транспорта, движущегося и выходящего с участка. Потери от остановок транспорта, входящего или пересекающего участок, не учитываются.

Суммарные потери от остановок транспорта на участке определяются как сумма потерь на каждом объекте:

$$P_{0\Sigma} = \sum_1^i P_{0i},$$

где  $P_{0i}$  – годовые потери от остановок на  $i$ -м объекте, у.е./год.

### 3.3. ПЕРЕПРОБЕГ ТРАНСПОРТА

Годовые потери от перепробега определяются по формуле:

$$P_S = e_S \cdot Q \cdot K_{нэ} \cdot \Phi_2 \cdot C_S \cdot K_{cv}, \text{ у.е./год,}$$

где  $e_S$  – удельный перепробег, км/а. Определяется экспериментально или расчетным путем.

$C_S$  – стоимость 1 км перепробега легкового автомобиля, у.е./км. Для общих расчетов принято:  $C_S = 0,10$  у.е./км (при  $V \approx 50$  км/ч).

$K_{cv}$  – коэффициент изменения стоимости перепробега от скорости:

$$K_{cv} = \sqrt{\frac{50}{V_s}},$$

где  $V_s$  – средняя скорость перепробега, км/ч.

### 3.4. ПЕРЕРАСХОД ТОПЛИВА

Годовые потери от перерасхода топлива определяются по формуле:

$$P_F = 0,01 \cdot e_F \cdot Q^* \cdot \Phi_2 \cdot S \cdot C_F, \text{ у.е./год,}$$

где  $Q^*$  – ИД (без учета электротранспорта), а/ч:

$$Q^* = Q[1 - \Delta_{эл}(1 + K_{инэл} - K_{ин})],$$

где  $Q$  – интенсивность движения, а/с;

$\Delta_{эл}$  – доля электротранспорта в потоке;

$K_{инэл}$  – динамический коэффициент приведения электротранспорта;

$\Phi_2$  – годовой фонд времени, ч/год;

$S$  – протяженность участка, км;

$C_F$  – стоимость 1-го литра топлива. Принято:  $C_F = 0,4$  у.е./л;

$e_F$  – удельный перерасход топлива, л/100 км:  $e_F = F_1 - F_2$ ;

$F_1$  и  $F_2$  – расход топлива в сопоставляемых расчетных случаях, л/100км.

$$F_{(1,2)} = F_V \cdot (1 + K_{FG}),$$

$F_V$  – расход топлива на данной скорости для условного ТС с динамическим коэффициентом приведения ( $K_{ин}$ ) данного ТП, л/100км.

$$F_V \approx F_0 \cdot K_{ин}^2 \cdot K_{FV}$$

$F_0$  – минимальный расход топлива приведенного автомобиля, л/100км. Принято:  $F_0 = 7$  л/100км.

$K_{FV}$  – коэффициент изменения расхода топлива от скорости (рис 2.);

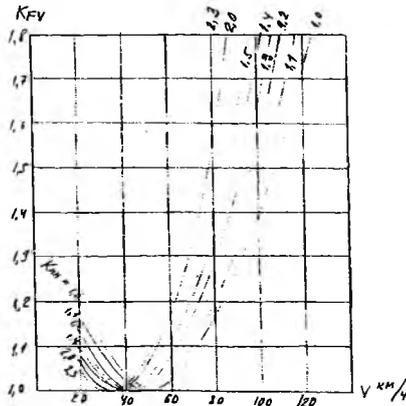


Рис. 2. Зависимость расхода топлива от СД и состава ТП [3]

$K_{FG}$  – коэффициент изменения расхода топлива от градиента скорости:

$$K_{FG} = 0,22 \cdot (20 \cdot G_V + I_V),$$

где  $G_V$  – градиент скорости:

$$G_V = \frac{3,6 \cdot \sigma_a}{V_c},$$

$V_c$  – скорость сообщения на исследуемом участке, км/ч;

$\sigma_a$  – шум ускорения (среднее квадратическое отклонение распределения ускорений на исследуемом участке), м/с<sup>2</sup>. Определяется экспериментально путем измерения мгновенной скорости при проезде исследуемого участка:

$$\sigma_a = \sqrt{\frac{(\Delta v)^2}{t} \cdot \sum_0^t \frac{n}{\Delta t} - \left( \frac{v_t - v_0}{t} \right)^2}, \text{ м/с}^2$$

где  $\Delta v$  – изменение скорости на некоторую абсолютную величину, например, 1 м/с;

$\Delta t$  – отрезок времени, в течение которого происходило данное изменение скорости ( $\Delta V$ ), с;

$t$  – продолжительность измерений, с;

$n$  – число зафиксированных изменений скорости;

$v_0$  – скорость на входе в исследуемый участок, м/с;

$v_t$  – скорость на выходе из участка, м/с;

$I_V$  – коэффициент вариации распределения скорости на данном участке:

$$I_V = \frac{\sigma_V}{V_c},$$

где  $\sigma_V$  – среднее квадратическое отклонение распределения мгновенной скорости, км/ч.

При отсутствии надлежащих исходных данных по  $G_v$ , можно пользоваться графиком зависимости  $K_{FG}$  от уровней обслуживания (рис 3).

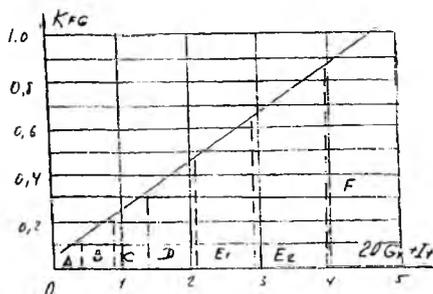


Рис. 3. График для определения коэффициента  $K_{FG}$

При этом уровень обслуживания на заданном участке можно приблизительно определить по табл. 4. Расчеты выполняются для каждого направления движения, а результаты суммируются.

Таблица 4

### Уровни обслуживания и параметры ТП [12]

Уровень обслуживания	Город $V_m = 60 \text{ км/ч.}$		Загород $V_m = 90 \text{ км/ч.}$		Магистраль $V_m = 120 \text{ км/ч.}$	
	V	Q	V	Q	V	Q
A	>50	<300	>82	<500	<110	<600
B	42	500	75	900	100	1000
C	34	600	68	1350	90	1700
D	27	675	60	1800	80	1800
E1	23	725	45	1660	60	1700
E2	19	775	30	1350	40	1400
F	<16	0+900	<30	0+1350	<40	0+1400

## 3.5. ЗАДЕРЖКИ ПЕШЕХОДОВ

### 3.5.1. НЕРЕГУЛИРУЕМЫЕ КОНФЛИКТНЫЕ ОБЪЕКТЫ

Потери от задержек пешеходов определяются по формуле:

$$P_{dn} = \frac{d_n}{3600} \cdot Q_n \cdot \Phi_2 \cdot C_B, \text{ у.е./год,}$$

где  $Q_n$  – ИД пешеходов, чел/ч (суммарная в обоих направлениях);  
 $\Phi_2$  – годовое фонд времени, чел/год (как правило, 3600 ч/год);  
 $C_B$  – доля ВВП, приходящаяся на 1чел/час. Принято:  $C_B=0,3$  у.е./час.  
 $d_n$  – удельная задержка пешеходов, с/чел:

$$d_n = \frac{e^{qT} - qT - 1}{q}, \text{ с/чел,}$$

где  $q$  – ИД транспорта (ГКП), а/с – см п. 3.1.1.1.1.  
 $T$  – приемлемый интервал в ГКП, с:

$$T \approx (4 + i) \cdot 1,05^{0,1 \cdot (V_1 - 60)}, \text{ с,}$$

где  $V_1$  – СД главного конфликтующего потока, км/ч;  
 $i$  – число полос движения ГКП.

Поскольку при двухстороннем движении переход проезжей части осуществляется в два этапа – от начала ПЧ до ее середины (островок безопасности), и от середины до конца ПЧ, то и расчет задержек также проводится аналогично. Вначале рассчитывается удельная задержка на первом этапе перехода ПЧ, а затем – на втором этапе и результаты суммируются. В большинстве случаев, когда ИД, скорость движения и ширина проезжей части в обоих направлениях практически одинакова, значение удельной задержки на одной из «половинок» ПЧ удваивают [5,6,8].

При одностороннем движении расчеты ведутся на всю фактическую ширину ПЧ. В некоторых случаях и при двухстороннем движении (узкая ПЧ, невозможность остановиться на середине ПЧ и т.д.) расчеты также следует вести на всю фактическую ширину ПЧ.

Расчеты выполняются для каждого самостоятельного транспортного направления, являющегося главным по отношению к пешеходам.

### 3.5.2. РЕГУЛИРУЕМЫЕ КОНФЛИКТНЫЕ ОБЪЕКТЫ

$$d_n = \frac{C \cdot (1 - \lambda_n)^2}{2}, \text{ с/чел,}$$

где  $C$  – продолжительность СФЦ, с;  
 $\lambda_n$  – доля ЗС для пешеходов в цикле.

### 3.5.3. ПЕШЕХОДНЫЕ ПЕРЕХОДЫ С ПВУ

Расчет задержек производится по п. 3.5.2. При этом рассматриваются условный СФЦ, включающий гарантированную продолжительность ЗС и для пешеходов, и для транспорта, а также два переходных интервала.

### 3.5.4. ПЕШЕХОДНЫЕ ПЕРЕХОДЫ ТИПА «ВЫБОР»

$$d_n = d_{nn} \cdot (1 - \beta) + d_{np} \cdot \beta, \text{ с/чел,}$$

где  $d_{nn}$  – удельная задержка пешеходов при работе объекта в нерегулируемом режиме, с/чел, – см. п. 3.5.1;

$d_{np}$  – удельная задержка пешеходов при работе объекта в регулируемом режиме, с/чел, – см. п. 3.5.3. При этом:

$$\lambda_n \approx \frac{t_{zn}}{t_{zn} + 2t_{np}} \text{ – если для пешеходов не включается КС;}$$

$\beta$  – доля работы объекта в регулируемом режиме. При отсутствии иных данных можно принимать:

$$\beta = \frac{(t_{zn} + 2 \cdot t_{np}) \cdot n}{36000},$$

где  $t_{zn}$  – продолжительность ЗС для пешеходов, с;

$t_{np}$  – продолжительность переходного интервала, с. При отсутствии иных данных можно принимать:  $t_{np} \approx 6\text{с}$ ;

$n$  – суточное число включений на ТВП (табло вызова пешеходов). При отсутствии иных данных можно принимать:

$$n \approx Q_n \leq 300,$$

где  $Q_n$  – ИД пешеходов (суммарная), чел/час.

### 3.6. ПЕРЕПРОХОД ПЕШЕХОДОВ

Потери от перепрохода пешеходов определяются по формуле:

$$П_{sn} = e_{sn} \cdot Q_n \cdot \Phi_z \cdot C_{sn} \cdot \text{у.е./год},$$

где  $e_{sn}$  – удельный перепроход пешеходов, км/чел;

$C_{sn}$  – стоимость перепрохода 1 км, у.е./чел · км. Принято:  
 $C_{sn} = 0,12$  у.е./чел · км.

## Раздел 4

### ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ

*К экологическим потерям будем относить ущерб только от превышающих минимально возможные величины выбросов вредных веществ в атмосферу, загрязнения воды и почвы, а также шума и вибрации. Экологический ущерб отличается тем коварным свойством, что действие его отложено во времени на довольно значительный период, в результате чего ныне живущие пожинают плоды деятельности прошлых поколений, а результаты нашей деятельности будут испытывать на себе потомки. Объективная опасность заключается в том, что результаты экологической деятельности человека могут оказаться непредсказуемо страшными, к примеру, исчезновение озонового слоя или нежелательные генетические изменения в самом человеке. Субъективная опасность заключается в том, что мы не видим и не хотим видеть неотвратимо надвигающуюся экологическую угрозу. Результирующая опасность, как известно [22], во многом зависит от соотношения субъективной и объективной опасности – в данном случае имеет место явная недооценка объективной опасности и экологическая ситуация становится все более угрожающей. Особенно, в Республике Беларусь, столь жестоко страдающей от Чернобыльской катастрофы, экологически безобразного сельскохозяйственного и промышленного производства, неразумного осушения болот, «импорта» загрязненного воздуха из более развитых промышленных стран, а также от собственной нищеты, не позволяющей цивилизованно противостоять экологической угрозе.*

Экологические потери в дорожном движении почти во всех постсоветских государствах не рассчитываются и очень слабо учитываются при оценке или принятии решений. В последние годы все больше ведутся разговоры о важности этой проблемы, о необходимости учета экологических потерь, однако, дальше разговоров дело не доходит. Что же касается доли экологических потерь в общем объеме всех потерь в дорожном движении, не считая социальных, то по сегодняшним германским оценкам, они стоят на втором месте, значительно уступая экономическим и не менее значительно превышая аварийные. Напомним, что это по сегодняшним оценкам – завтра, как представляется, значимость экологических потерь существенно возрастет.

Загрязнение окружающей среды происходит по трем основным направлениям [13]:

- *ингредиентное*, связанное с производством и выбросом отходов в среду обитания – воздух, воду и почву;

- *параметрическое*, связанное с непроизводительными потерями энергии, преобразуемой в неиспользуемые и вредные ее разновидности – шумовое, вибрационное, тепловое, электромагнитное;

- *экологическое*, связанное с необратимыми изменениями естественных экологических систем – разделяющий эффект, сокращение мест обитания, гибель живых организмов, снижение продуктивности в сельскохозяйственном, лесном и других видах производства.

Все три направления приносят цивилизации огромный ущерб. Например, ежегодно под колесами автомобилей только в США гибнет около 350 млн. позвоночных [14]. Или, например, КПД автомобильных двигателей не превышает 60% – остальная энергия расходуется на параметрическое загрязнение. Но наибольший вред приносят выбрасываемые в окружающую среду отходы, которые, в конечном счете, могут погубить цивилизацию. Круг участвующих в загрязнении окружающей среды отходами чрезвычайно многообразен и обширен. Здесь и тепловая энергетика, ежегодно сжигающая, часто без надлежащей очистки, миллиарды тонн угля и другого топлива. Здесь и ядерная отрасль, включающая военную и гражданские ветви, опасность которых заключается не только в отходах, но и в возможных авариях или катастрофах, наподобие Чернобыльской. Здесь и добывающая отрасль, загрязняющая окружающее пространство на десятки километров вокруг мест добычи. Здесь и промышленность, варварски загрязняющая землю, воду и воздух. И сельское хозяйство с гигантскими животноводческими комплексами, безобразным применением удобрений и гербицидов, с распашкой земли до самых уездов водоемов. И знаменитые мелиораторы, гидростроители и просто строители, и военные со своими базами и полигонами. И простые граждане, с удивительной изобретательностью засоряющие или выжигающие вокруг себя все, что только можно. И, конечно же, наш транспорт, который является одним из самых сильных загрязнителей окружающей среды, особенно, атмосферы.

## Выбросы в атмосферу

Доля транспортного комплекса в общем объеме загрязнения атмосферы колеблется в пределах от 20 до 60% [44]. Доля дорожного транспорта в объеме загрязнения атмосферы транспортным комплексом близка к 80%, при этом, около 75% объема загрязнения дорожным транспортом приходится, по некоторым данным, на долю дорожного движения, а остальные 25% - на долю инфраструктуры дорожного транспорта, т.е. на дорожный и автотранспортный комплексы, придорожный сервис и т.д.

Следует отметить, что одинаковые выбросы различных видов транспорта оказывают неодинаковое влияние на загрязнение окружающей среды. Так, выбросы дорожного транспорта располагаются в приземном слое и оказывают особое влияние на здоровье человека и состояние растительности, а выбросы воздушного транспорта оказывают большее влияние на разрушение озонового слоя. Например, окислы азота,  $NO_x$ , выброшенные самолетом, приблизительно, в 50 раз больше разрушают озоновый слой, чем то же количество этих окислов, выброшенное автомобилем. Отсутствие в экологии единых методик измерения и расчетов, слабость экспериментальной базы, сложность анализа и обобщения, а также ряд других трудностей, привели к тому, что различные авторы дают сильно отличающуюся информацию по загрязнению одной и той же территории, по величине выбросов транспортных средств и транспортных потоков на различных режимах движения и т.д. Поэтому, публикуемые цифровые данные, особенно, в популярной литературе, следует воспринимать, скорее, как качественную, нежели количественную характеристику загрязнения окружающей среды.

Автомобиль загрязняет воздух веществами, которые выбрасываются с отработавшими и картерными газами, а также в результате испарения топлива. По некоторым данным [4] один легковой автомобиль за год испаряет от 60 до 80 л топлива, а грузовой – от 200 до 500 л. Основная масса выбросов приходится на отработавшие газы, включающие более 200 компонентов, из которых, по меньшей мере, 30 токсичны (ядовиты).

Сопоставление степени опасности различных веществ производится, как обычно, с помощью коэффициентов приведения. Наиболее популярным является коэффициент приведения  $K_{n2}$ , который учитывает различные факторы и показывает, во сколько раз данное вещество опаснее окиси углерода. В табл. 5 приведены значения коэффициента  $K_{n2}$  для некоторых веществ.

Значения коэффициентов приведения  $K_{n2}$  [14]

Наименование вещества	Формула	$K_{n2}$
Двуокись углерода	CO <sub>2</sub>	0,002
Окись углерода	CO	1,0
Сернистый ангидрид	SO <sub>2</sub>	22,0
Окислы азота	NO <sub>x</sub>	41,1
Бензпирен	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	1260000
Соединения свинца	Pb Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	22400
Бензин топливный	C	3,2
Твердые частицы: неэтилированный бензин	C	300
этилированный бензин		500
дизельное топливо		200

Наиболее опасными являются т.н. канцерогены 1-го класса: бензпирен, который более миллиона раз опаснее CO, и соединения свинца, которые более двадцати тысяч раз опаснее CO. Несгоревшие твердые частицы, выбрасываемые двигателями, опасны не только тем, что в них содержатся собственные токсичные вещества, но еще и тем, что они абсорбируют другие вредные вещества и служат их переносчиками в пространстве. Опасность практически безвредной для человека и растений двуокиси углерода CO<sub>2</sub> заключается в том, что она вызывает парниковый эффект и способствует глобальному потеплению климата. Учитывая масштабы выбросов CO<sub>2</sub>, – а они, примерно, в 15 раз превышают все остальные транспортные выбросы, вместе взятые и, по некоторым оценкам, достигают чуть ли не половины всех выбросов CO<sub>2</sub> на Земле – эти выбросы создают довольно серьезную экологическую угрозу.

Окись углерода CO опасна для человека тем, что вызывает торможение функций активных центров образования гемоглобина, вследствие чего в организме нарушаются окислительные процессы, что может привести к смерти. Вначале появляются головные боли, сердцебиение, удушье, боли в животе, рвота, а затем – сонливость и потеря сознания. Легко представить, насколько опасно для водителя отравление даже небольшими дозами окиси углерода, как, впрочем, и другими токсичными выбросами.

Окислы азота разрушают легочную ткань, слизистую оболочку глаз, вызывают паталогическое состояние беспокойства и, кроме того, они канцерогенны. Несгоревшие углеводороды вызывают разнообразные хронические заболевания крови, тканей мышц и центральной нервной системы. Кроме того, некоторые из них обладают явными наркотическими свойствами. Двуокись серы разлагает костный мозг и селезенку и вызывает нарушения в обмене веществ. Малые дозы двуокиси серы вызывают головные боли, раздражение слизистых оболочек, конъюнктивиты и бронхиты. Свинец и его соединения накапливаются (не выводятся) в организме и нарушают кровообразование и обмен веществ. К тому же, свинец и его соединения накапливаются не только в организме человека, но, практически, всюду – в растениях и их плодах, в мясе животных, в молоке и т.д., при этом для них (растений и животных) это не всегда вредно! Напомним, что по этой причине весьма нежелательно употреблять в пищу растительные продукты, выросшие на придорожной полосе шириной менее 150 м от оси дороги с интенсивностью движения более 3000 авт/сут, а также мясомолочные продукты, если животные питались растениями с этой полосы.

Выбросы в атмосферу наносят ущерб не только здоровью человека – от них страдают целые отрасли народного хозяйства (табл. 6). Например, коммунальное хозяйство терпит убытки от коррозии металлических крыш из-за кислотных дождей, от болезней и гибели зеленых насаждений, от проблемы очистки воды, уборки территорий... Лесное хозяйство несет потери из-за слабого прироста древесной массы, болезни и гибели деревьев.

*Таблица 6*

**Распределение ущерба от загрязнения атмосферы (в%) [2]**

Отрасль	доля, %
Здравоохранение	50
Коммунальное хозяйство	31
Промышленность	7
Сельское и лесное хозяйство	12
Итого	100

Сельское хозяйство несет потери из-за снижения урожайности, поскольку, например, на каждый гектар угодий ежегодно выпадает, в среднем, до тонны токсичных веществ.

Оценка уровня загрязнения атмосферы производится сопоставлением измеренной и предельно допустимой концентрации (ПДК). Значения ПДК устанавливаются для различных токсичных веществ при постоянном, среднесуточном и разовом действиях. В табл. 7 приведены среднесуточные значения ПДК для некоторых токсичных веществ.

Таблица 7

### Допустимые концентрации токсичных веществ [14]

Вещество		$K_{п2}$	Содержание мг/м <sup>3</sup>
Окислы азота	NO	41,1	0,06
	NOx		0,04
Соединения свинца	Pb	22400	0,0003
	Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>		0,0003
Оксид, SO <sub>2</sub>		22	0,05
Оксид углерода, CO		1	3
Углерод, С		500	0,05
Бензпирин, C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>		1260000	0,000001
Бензин, С		3,2	0,05

Необходимо отметить, что измерение концентрации вредных веществ и определение вклада каждого источника, например, транспортного потока, промышленного предприятия и т.д., является весьма сложной, трудоемкой и дорогостоящей процедурой. Необходимо также отметить, что борьба с загрязнением атмосферы транспортом ведется не очень эффективно, больше на словах и, к примеру, на некоторых городских улицах уровень загрязнения превышает ПДК в несколько раз или даже в десятки раз в течение десятилетий.

Тем не менее, эта борьба все же ведется по следующим основным направлениям:

– технический уровень и состояние транспортных средств. Общеизвестно, что современные автомобили значительно чище своих предшественников, причем объем вредных выбросов уменьшается в разы.

Здесь значительную роль играет совершенствование процесса сгорания, применение высококачественных топлив, масел и присадок, снижение расхода топлива, установка нейтрализаторов и дожигателей;

- улучшение качества улично-дорожной сети – дороги и улицы должны быть высокого качества, а покрытие должно быть всегда ровным;

- улучшение качества управления дорожным движением, особенно, в городах – следует исключать перепробеги, повышать среднюю скорость и улучшать режимы движения, делая их более «спокойными» с минимальным количеством маневров.

Эти и другие направления [31,41,47] касаются снижения объема выбросов в атмосферу, т.е. объема производимого вреда. Для того, чтобы уменьшить потребление экологического вреда, особенно, людьми, используются следующие направления:

- архитектурно-планировочное, при которых проезжая часть относится от основных «потребителей» - тротуаров с пешеходами, жилых зданий, детских и лечебно-оздоровительных учреждений и т.д.; создаются условия для проветривания нагруженных территорий; улицы преимущественно грузового движения размещают, по возможности, вне пределов селитебных и торгово-деловых районов или мест массового отдыха;

- озеленение и уборка. Посадки деревьев, особенно, специальных пород, например, тополя, служат не только экраном, защищающим от выбросов и шума, но и являются активным поглотителем вредных веществ. Своевременная уборка и мойка проезжей части позволяет удалить очень «грязную» пыль, до предела насыщенную токсичными выбросами. Мойка тротуаров водой со специальными добавками (шампунями), оказывается, вовсе не является прихотью богачей, а действенным способом защиты людей в густонаселенных районах от ядовитой пыли.

Кроме атмосферного воздуха дорожный транспорт загрязняет еще воду и почву, при этом основная доля загрязнения приходится на инфраструктуру. Значительный и весьма разнообразный ущерб приносит посыпка улиц и дорог песчано-соляными смесями. Загрязнение почвы осуществляется через выбросы в атмосферу, оседающие на почву и водоемы, через распространение сильно токсичной придорожной пыли, через многочисленные подтеки топлива и масел, а также при мойке автомобилей в неположенных местах.

## *Шум и вибрация*

Значительный ущерб здоровью людей наносит шум, сопровождающий движение транспортных потоков. Особенно, в районе перекрестков, где движение характеризуется переменными режимами с бесконечными торможениями, остановками, троганиями с места и разгонами. Или в районе улиц с неровным покрытием проезжей части, где и так повышенный уровень шума из-за переменного режима движения дополняется всевозможным грохотом, скрежетом, стуками, стрельбой из глушителей и т.д. Если добавить сюда вибрацию зданий, ночное мелькание света, постоянную грязь и сажу на окнах, не позволяющую открывать форточки, постоянную загазованность воздуха – и так из дня в день, из года в год – то можно легко представить все прелести проживания в непосредственной близости от нагруженного перекрестка городской улицы или загородной дороги. Причем, заметим, безо всякой компенсации, как это делается, например, для работающих в цехах с вредным производством или для проживающих на зараженной территории.

Вредное воздействие шума на человека проявляется в потере слуха и многочисленных видах психических расстройств, которые имеют свойство накапливаться. Возникают изменения в циркуляции крови, работе сердца и желез внутренней секреции, снижается мышечная выносливость. Реакция на шум часто выражается в повышенной возбудимости и затруднениях в общении. Шум оказывает вредное влияние на зрительный и вестибулярный анализаторы, снижает устойчивость ясного видения и рефлекторную деятельность. Чувствительность сумеречного зрения ослабляется и снижается чувствительность дневного зрения к оранжево-красным лучам. Если сказанное отнести к водителям транспортных средств, то легко увидеть, что шум не только отнимает у них здоровье и сокращает им жизнь, но и самым непосредственным образом влияет на безопасность дорожного движения. По некоторым данным [33], до 70% городского населения, – а это около половины населения страны – проживает в зоне акустического дискомфорта.

Источником шума в дорожном движении является движущийся автомобиль, который излучает звуковую энергию через двигатель с системами впуска и выпуска, трансмиссию, подвеску, кузов и шины. Звуковая волна, создающая перепад давления, несет звуковую

энергию, которая характеризуется интенсивностью звука  $J$ , определяемой как поток энергии, приходящийся на единичную площадку. Человек способен воспринимать звуковые колебания в диапазоне интенсивности  $J$  от  $10^{-12}$  до  $1,0 \text{ Вт/м}^2$  (или в диапазоне звукового давления от  $2 \cdot 10^{-5}$  до  $2 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2$ ) при частоте от 20 до 20000 Гц. Пользоваться абсолютными показателями характеристик звука крайне неудобно, поскольку они отличаются друг от друга в миллиарды раз. Кроме того, оказалось, что физиологическое восприятие звука значительно отстает от роста интенсивности источника и это соотношение подчиняется логарифмическому закону. Поэтому при измерениях и оценке звука применяют относительные показатели, выраженные в логарифмических величинах – децибелах (дБ):

$$L = 10 \cdot \lg \frac{J}{J_0}, \text{ дБ},$$

где  $L$  – уровень звука (шума), дБ;

$J$  – измеряемое значение интенсивности звука,  $\text{Вт/м}^2$ ;

$J_0$  – пороговая интенсивность звука;

$J_0 = 10^{-12} \text{ Вт/м}^2$  (что соответствует звуковому давлению  $p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Н/м}^2$ ). Заметим, что множитель «10» используется для того, чтобы диапазон оценки увеличить с 12 до 120, т.е. сделать его более удобным – именно поэтому единица измерения получила название «децибел», дословно – десятая доля логарифма.

Весь частотный спектр шума (20 ... 20000 Гц) разбит на полосы, называемые октавами, в которых верхняя граница  $f_2$  в два раза выше нижней  $f_1$ . Средняя частота октавы определяется как среднее геометрическое граничных частот  $f_{cp} = \sqrt{f_1 \cdot f_2}$ . Всего различают десять октавных полос шума: 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 и 16000 Гц.

Различают *тональный* шум, когда уровень шума в одной из частотных октав более чем на 10 дБ выше уровня в других октавах, и *широкополосный* шум – с непрерывным шумом более одной октавы без значительного (свыше 10 дБ) превышения в одной из октав.

Шум транспортного потока является типичным широкополосным шумом. Воздействие шума на человека на разных частотах неодинаково – на низких и высоких частотах оно меньше, на средних – больше. Чтобы оценить это воздействие одним показателем, применяют т.н. частотные коррективы, сущность которых заключается в том, что суммируют не весь шум, а только его часть. При этом, чем больше вреда приносит шум на данной частоте, тем большая доля его суммируется. Поскольку суммирование производится для различных целей, то имеются различные системы (шкалы) суммирования – их всего четыре: А, В, С и D. Для гигиенических и подобных исследований применяется шкала А, которая наилучшим образом соответствует восприятию звука человеком, поэтому уровень шума здесь оценивается в децибелах А или дБА.

Если уровень шума во времени изменяется не более, чем на 5 дБА, то такой шум называется постоянным, в противном случае – непостоянным. Шум транспортных потоков является непостоянным и, чтобы привести его к постоянному, применяется сложная система приведения, учитывающая пиковые, фоновые, средние значения и их сочетания. Приведение производится таким образом, чтобы воздействие на человека непостоянного шума, выраженного в приведенных (эквивалентных) единицах, было, по возможности, равным воздействию постоянного шума такой же величины. Таким образом, оценка транспортного шума производится по т.н. эквивалентному уровню, выраженному в децибелах А –  $L_{экв}$ , дБА.

Уровень шума нормируется и оговаривается во многих нормативах и находится в пределах от 77 дБа – для легковых автомобилей, до 84 дБа – для грузовиков.

Уровень шума в помещениях нормируется в зависимости от типа (жилое, нежилое), времени суток (день, ночь) и продолжительности пребывания людей. Например, для жилых помещений нормируемый уровень шума днем равен ~ 40дБА, ночью – ~30 дБА. Следует отметить, что в жилых помещениях, расположенных в непосредственной близости от нагруженных перекрестков или магистральных улиц, уровень шума очень часто превышает допустимые нормы.

Уровень транспортного шума зависит от многих факторов, среди которых можно выделить:

– интенсивность движения, состав транспортного потока и скорость движения;

– технический уровень, состояние и возраст транспортных средств;

– технический уровень и состояние улично-дорожной сети;

– качество управления дорожным движением. Ясно, что наибольший уровень шума, равно как и выбросов в атмосферу, наблюдается при переменных режимах движения. Поэтому, особенно в городах, движение должно происходить равномерно, без торможений и разгонов. В некоторых случаях для снижения уровня шума приходится ограничивать или запрещать грузовое движение.

При движении автомобиля, кроме шума, возникают вибрации, представляющие собой низкочастотные колебания в октавных диапазонах 2, 4, 8, 16, 31,5 и 63 Гц. Вибрации обусловлены работой силового агрегата, подвески, кузова и взаимодействием колес с неровностями дороги. В отличие от шума, вибрация передается только через жесткую среду – кузов и некоторые агрегаты автомобиля, а также через дорожное покрытие и грунт. Вредное воздействие вибрации испытывает водитель и пассажиры автомобиля, а также пешеходы, находящиеся на удалении до 10 м, и здания (сооружения), расположенные ближе 30 м от проезжей части.

Воздействия вибрации на человека проявляется в заболеваниях опорно-двигательного аппарата, психических и сердечно-сосудистых заболеваниях, смещении внутренних органов, например, опущении желудка и т.д. Воздействие вибрации на здания и сооружения проявляется в появлении и разрастании трещин, приводящих к серьезным разрушениям. Особенно страдают старинные здания, представляющие собой историческую ценность и часто расположенные в кварталах средневековой застройки с очень узкими улицами.

Уровень вибрации определяется, в основном, скоростью движения, ровностью дороги и качеством автомобиля. При движении одиночных (без прицепов) автомобилей возникают, в основном, вертикальные колебания, которые мягче переносятся человеком, поскольку он физиологически к ним приспособлен из-за ходьбы. Продольные колебания, которые чаще возникают при движении автомобилей с прицепами, человек переносит намного хуже, особенно, на высоких частотах.

Установлены допустимые значения вибрации в зависимости от продолжительности ее воздействия на человека, которые не всегда выполняются, особенно, на грузовиках, тракторах и других подобных машинах. Для снижения вибраций очень важна хорошая подвеска двигателя и силового агрегата, рулевого колеса, сидений и всего кузова, а также конструкция и эластичность шины колеса. Для снижения вибрации зданий при закладке фундаментов применяют различные амортизационные устройства, уменьшающие передачу колебаний от грунта. В части организации дорожного движения снижение вибраций может быть достигнуто путем уменьшения интенсивности движения и скорости движения в опасной зоне, а также запрещением здесь движения тяжелых грузовиков и дорожно-строительных машин.

Уже упоминалось, что экологические потери в дорожном движении, к сожалению, не рассчитываются. В результате, многие решения, принимаемые с благими экологическими намерениями, часто приводят к прямо противоположным результатам, сопровождаемым весьма значительными и совершенно неоправданными потерями. Например, запрещение стоянок транспорта вне проезжей части, якобы направленное на защиту окружающей среды, вынуждает водителей, правдами или неправдами, парковаться исключительно на проезжей части. Это приводит не только к увеличению маневрирования, загрузки полос, повышению опасности, увеличению экономических и социальных (масса нарушений) потерь, но и к увеличению, иногда в несколько раз.

## **4.1. ВЫБРОСЫ В АТМОСФЕРУ**

### **4.1.1. Линейные объекты**

Расчеты потерь от выбросов вредных веществ в атмосферу производятся по стоимости ущерба для народного хозяйства от произведенного объема выбросов ( $M_0$ ) и стоимости ущерба для здоровья людей от приведенного (к потребителю) объема выбросов ( $M_i$ ). Годовые нормативные (по отношению к принятому нормативу:  $V=60$  км/ч,  $I_v=0$  и  $t=4$  года) потери от выбросов определяются по формуле:

$$P_{mn(u,э)} = \left[ M_0 \cdot C_{m0} + \sum_1 (N_i \cdot C_{mi}) \right] \cdot \Phi_2 \cdot S \cdot K_c, \text{ у.е./год,}$$

где  $P_{mни}$  – годовые нормативные потери в исследуемых условиях, у.е./год;

$P_{mнэ}$  – годовые нормативные потери в эталонных условиях, у.е./год;

$\Phi_2$  – годовой фонд времени, час/год;

$S$  – протяженность исследуемого участка, км;

$K_c$  – социальный коэффициент экологических потерь. Принято:

$$K_c = 1,5.$$

$M_0$  – удельный объем произведенных выбросов, кг/км\*ч:

$$M_0 = Q \cdot m \cdot [K_{нн} (K_{mv} \cdot K_{iv} - 1) + H_t \cdot K_{mv} \cdot K_{iv}], \text{ кг/км*ч,}$$

$m$  – базовое (минимальное) значение суммарных приведенных (по СО) выбросов легкового автомобиля, кг/км. При отсутствии иных данных можно принимать:  $m=0,02$  кг/км.

$K_{mv}$  – коэффициент изменения выбросов от скорости – см. рис. 4;

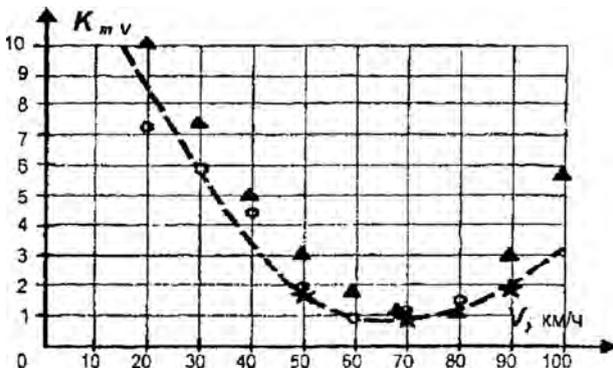


Рис. 4. Ориентировочная зависимость удельных приведенных (по СО) выбросов легковых автомобилей от средней скорости движения потока [10,14,40,43]

$K_{iv}$  – коэффициент изменения выбросов от дисперсии скорости.  
Принято:

$$K_{iv} = \sqrt{1 + I_v},$$

где  $I_v$  – коэффициент вариации распределения скоростей;  
 $Q^*$  – расчетная ИД, а/ч:

$$Q^* = Q \left[ 1 - \Delta_{эл} (1 + K_{nn\ эл} - K_{nn}) \right],$$

где  $Q$  – интенсивность движения ТП, а/ч. Как правило, рассматривается суммарный ТП, параметры которого определены как средневзвешенные значения параметров входящих в него потоков;

$\Delta_{эл}$  – доля электротранспорта в потоке;

$K_{nn\ эл}$  – динамический коэффициент приведения электротранспорта;

$H_t$  – коэффициент возраста ТС:

$$H_t = \Delta\delta \cdot K_{nn\delta} \cdot K_{i\delta} + \Delta\partial \cdot K_{i\partial} \cdot K_{nn\partial},$$

где  $\Delta\delta$  и  $\Delta\partial$  – доля в потоке ТС с бензиновыми и дизельными двигателями;

$K_{nn\delta}$  и  $K_{nn\partial}$  – динамический коэффициент приведения ТС с бензиновыми и дизельными двигателями;

$K_{i\delta}$  и  $K_{i\partial}$  – коэффициент приращения выбросов от возраста ТС с бензиновыми и дизельными двигателями:

$$K_{i\delta} = 0,08(t - 4);$$

$$K_{i\partial} = 0,05(t - 4),$$

где  $t$  – средний возраст ТС в потоке, лет.

$C_{m0}$  – стоимость экологических потерь в народном хозяйстве от выброса 1 кг приведенных (по СО) вредных веществ, у.е./кг. Принято:

$$C_{m0} = 0,025 \text{ у.е./кг} - \text{город};$$

$$C_{m0} = 0,01 \text{ у.е./кг} - \text{загород};$$

$C_{mi}$  – стоимость экологических потерь от воздействия выбросов такой концентрации, которая эквивалентна удельному приведенному (к данному потребителю) выбросов ( $M_i$ ), у.е./чел\*ч. Принято:

$$C_{mi} = 0,02 \cdot C_B \sqrt{M_i - 6}, \text{ у.е./чел*ч},$$

$C_B$  – удельная (на 1 человека) часовая стоимость ВВП, производимого в нормальных экологических условиях. Принято:

$$C_B = 0,3 \text{ у.е./чел*ч},$$

где  $M_i$  – удельный приведенный (к данному потребителю) объем выбросов, кг/км\*ч. Рассматриваются 3 категории потребителей – водители (1), пешеходы (2) и жители прилегающих зданий (3):

– водители:

$$M_1 = M_0 \cdot K_{z1},$$

где  $K_{z1}$  – коэффициент защиты водителей. Принято:  $K_{z1} = 1$ ;

– пешеходы:  $M_2 = M_0 \cdot K_{z2}$ ,

где  $K_{z2}$  – коэффициент защиты пешеходов. Принято:

$$K_{z2} = e^{-0,04 \cdot (r_2 + 5 \cdot i_2)},$$

где  $r_2$  – расстояние от середины траектории движения ближайшего ряда ТС до середины тротуара, м;

$i_2$  – число рядов деревьев или кустарников, эффективно защищающих пешеходов от экологического воздействия. Если регулярно проводится эффективная мойка ПЧ и тротуаров, то это можно приравнять к некоторому (до 1) числу рядов посадок;

– жители:

$$M_3 = M_0 \cdot K_{z3}$$

где  $K_{z3}$  – коэффициент защиты жителей. Принято:

$$K_{z3} = e^{-0,04 \cdot (r_3 + 5 \cdot i_3 + 10)},$$

где  $r_3$  – расстояние (по диагонали) от середины траектории движения ближайшего ряда ТС до средних по высоте окон застройки, м. Высота застройки может быть, приблизительно, определена по формуле:

$$0,5 \cdot H \approx 3 \cdot n_{ЭГ} + 2, \text{ м,}$$

где  $n_{ЭГ}$  – число этажей застройки;

$i_3$  – число рядов деревьев (а для одноэтажной застройки – и кустарников), эффективно защищающих жителей от экологического воздействия. При наличии естественных или искусственных защитных сооружений или, если улица очень хорошо проветривается, условное число рядов  $i_3$  можно несколько увеличить.

$N_i$  – удельное (на 1 км) число потребителей данной категории, чел/км;

$N_1$  – водители и пассажиры:

$$N_1 = \frac{(40 \cdot \Delta O + 1,5) \cdot Q}{V}, \text{ чел/км,}$$

где  $\Delta O$  – доля общественного транспорта в потоке;

$Q$  – интенсивность движения, а/ч;

$V$  – скорость движения, км/ч;

$N_2$  – пешеходы:

$$N_2 = \frac{Q_{n\Sigma}}{V_n}, \text{ чел/км,}$$

где  $V_n$  – скорость движения пешеходов, км/ч. Принято:  $V_n = 4$  км/ч – тротуары;  $V_n = 5$  – переходы.

$Q_{n\Sigma}$  – суммарная (включая движение по тротуарам и переходам)

ИД пешеходов, чел/ч. При отсутствии иных данных можно принимать

следующие значения  $N_2$ , в зависимости от категории улицы: главная – 250 чел/ч·км, торгово-деловая – 150 чел/ч·км; прочие – 50 чел/ч·км. При этом, для отдельных улиц крупных и крупнейших городов значения  $N_2$  могут быть увеличены до 5 раз, а для малых городов и населенных пунктов – существенно уменьшены.

$N_3$  – жители прилегающих зданий. Для детальных расчетов число  $N_3$  должно быть приведено в исходных данных. При этом, оно может отличаться для расчетов потерь от выбросов и потерь от шума. Для приближенных расчетов, в зависимости от типа и назначения застройки, можно принимать:  $N_3 \approx (0,7 \div 1,0) \cdot N_{ок}$ , чел/км, где  $N_{ок}$  – число окон прилегающих (до 50 м) зданий, входящих на исследуемую улицу, окон/км.

В практических задачах перед проведением расчетов задаются исследуемыми и эталонными условиями. Рассчитываются нормативные потери отдельно для исследуемых ( $P_{тни}$ ) и отдельно для эталонных ( $P_{тнэ}$ ) условий. Разность между ними и будет искомой величиной потерь от выбросов ( $P_m$ ):

$$P_m = P_{тни} - P_{тнэ}, \text{ у.е./год.}$$

#### 4.1.2. КОНФЛИКТНЫЕ ОБЪЕКТЫ

При расчете потерь на перекрестках определяются, как правило, два расчетных суммарных ТП, каждый со своими «потребителями» – для главной (1) и второстепенной (2) улиц. В расчетный поток объединяются все потоки, движущиеся транзитом с обоих направлений данной улицы, и все поворотные потоки, выходящие с нее. Для каждого отдельного ТП, входящего в состав расчетного, определяется расчетная протяженность перекрестка ( $S_i$ ) и параметры распределения скорости ( $\bar{v}_i$  и  $I_{vi}$ ).

Протяженность перекрестка, на которой режим движения данного ТП отличается от режима движения на перегоне ( $S_i$ ), складывается из 3-х составляющих:

1 – пути, пройденного ТС за время торможения от начальной скорости движения на перегоне ( $V_0$ ) до конечной скорости движения перед первой стоп-линией ( $V_k$ ). Заметим, что очень часто  $V_k=0$ ;

2 – расстояния от условной первой стоп-линии на входе до условной последней стоп-линии на выходе;

3 – пути, пройденного ТС за время разгона от конечной скорости на последней стоп-линии ( $V_k$ ) до начальной скорости движения на перегоне ( $V_0$ ).

При расчетах протяженности перекрестка ( $S_i$ ) в качестве замедления от скорости  $V_0$  к  $V_k$ , и при ускорении от скорости  $V_k$  к  $V_0$ , если нет иных данных, можно принимать:

$$a \approx \frac{2}{K_{nn} \cdot K_{yn}}, \text{ м/с}^2,$$

где  $K_{yn}$  – коэффициент условий по потоку насыщения – см. табл.2.

Для определения параметров распределения скорости движения ( $\bar{v}_i$  и  $I_{v_i}$ ) на участке ( $S_i$ ) необходимо рассчитать задержки исследуемого ТП на каждой стоп-линии и определить скорость движения поворотных потоков на самом перекрестке. Напомним, что на регулируемых перекрестках задержки на первых стоп-линиях определяются для суммарной ИД на каждой полосе, независимо от направления дальнейшего движения находящихся на ней ТС. Задержки поворотных потоков перед главными конфликтующими ТП или перед пешеходами рассчитываются индивидуально для каждого потока. Напомним также, что скорость поворотных потоков ( $v_R$ ) и радиус, траектории поворотного движения ( $R_M$ ), связаны приближенной зависимостью:  $v_R \approx 0,33R_M$ , м/с.

Методом пошагового счета (рекомендуемый шаг – 1 с) определяются текущие значения скорости ( $v_i$ ) и параметры распределения  $\bar{v}$  и  $I_v$ . Напомним, что:

$$\bar{v} = \frac{\sum (v_i \cdot n_i)}{\sum n_i}, \quad I_v = \frac{1}{\bar{v}} \cdot \sqrt{\frac{\sum [(v_i - \bar{v})^2 \cdot n_i]}{\sum n_i}};$$

где  $v_i$  – текущее значение СД (среднее для данного шага), м/с;

$n_i$  – число шагов, соответствующих данному значению скорости ( $v_i$ ).

Интенсивность движения расчетного потока ( $Q$ ) определяется как сумма ИД всех входящих ТП. Коэффициент приведения ( $K_{ин}$ ), протяженность перекрестка ( $S$ ), скорость движения ( $v$ ) и коэффициент вариации скорости ( $I_V$ ) допускается упрощенно определять как средневзвешенные (по ИД, а при необходимости – последовательно по  $Q$ ,  $K_{ин}$ ,  $S$  и  $v$ ) значения соответствующих параметров. Таким образом, получают параметры исследуемых расчетных потоков.

Для определения параметров эталонных расчетных потоков необходимо сделать ряд допущений, в зависимости от характера решаемых задач. Например, можно допустить, что на регулируемых перекрестках все транзитные потоки скоординированы и движутся безостановочно со скоростью, скажем,  $V_3 = 60$  км/ч. При этом, протяженность перекрестка для транзитных потоков ( $S_{трз}$ ) будет равна расстоянию между входными стоп-линиями по данной улице. Поворотные потоки также могут двигаться безостановочно, но на самом повороте они вынуждены двигаться со скоростью не более  $V_R$ . На нерегулируемом перекрестке задержки и остановки всех второстепенных и поворотных главных потоков неизбежны, однако, всем им должны быть обеспечены идеальные условия – видимость, ровность, скользкость, отдельная полоса для поворотных потоков и т.д.

Для полученных таким образом исследуемых и эталонных расчетных потоков согласно п. 4.1.1. рассчитываются для обеих улиц удельные объемы произведенных выбросов ( $M_{01}$  и  $M_{02}$ ). Затем для каждой улицы рассчитывается суммарный объем произведенных выбросов:

$$M_{01\Sigma} = M_{01} + \Delta M_{02}, \text{ кг/км},$$

$$M_{02\Sigma} = M_{02} + \Delta M_{01}, \text{ кг/км},$$

где  $\Delta M_{01}$  – для удельного объема произведенных выбросов главной улицы (1), попадающего в зону влияния второстепенной улицы (2):

$$\Delta M_{01} = M_{01} \cdot \left[ K_{z01} + \frac{(S_2 + B_1) \cdot (1 - K_{z01})}{2 \cdot S_2} \right], \text{ кг/км},$$

где  $S_2$  – протяженность перекрестка по второстепенной улице, м;

$B_1$  – ширина ПЧ главной улицы, м;

$K_{z01}$  – коэффициент защиты потребителей главной улицы;

$K_{z01}$  – коэффициент защиты потребителей главной улицы:

$$K_{z01} = \frac{B_2 + 2 \cdot b_2}{S_1} \cdot e^{-0,02 \cdot S_2} + \left(1 - \frac{B_2 + 2 \cdot b_2}{S_1}\right) \cdot e^{-0,04 \cdot (0,5 \cdot S_2 + 5 \cdot i_{41} + 10 \cdot i_{51})}$$

где  $B_2$  – ширина ПЧ второстепенной улицы, м;

$b_2$  – средняя ширина тротуара (с одной стороны) второстепенной улицы, м;

$i_{41}$  – число рядов деревьев и кустарников на удалении от оси ПЧ главной улицы до  $0,5 \cdot S_2$ ;

$i_{51}$  – число рядов зданий на удалении от оси ПЧ главной улицы до  $0,5 \cdot S_2$ .

Аналогично определяется значение  $\Delta M_{02}$ :

$$\Delta M_{02} = M_{02} \cdot \left[ K_{z02} + \frac{(S_1 + B_2) \cdot (1 - K_{z02})}{2 \cdot S_1} \right], \text{ кг/км,}$$

$K_{z02}$  – коэффициент защиты потребителей второстепенной улицы:

$$K_{z02} = \frac{B_1 + 2 \cdot b_1}{S_2} \cdot e^{-0,02 \cdot S_1} + \left(1 - \frac{B_1 + 2 \cdot b_1}{S_2}\right) \cdot e^{-0,04 \cdot (0,5 \cdot S_1 + 5 \cdot i_{42} + 10 \cdot i_{52})},$$

где  $S_1$  – расчетная протяженность перекрестка по главной улице, м;

$B_1$  – ширина ПЧ главной улицы;

$b_1$  – средняя ширина тротуара (с одной стороны) главной улицы, м;

$i_{42}$  – число рядов деревьев и кустарников на удалении от оси ПЧ второстепенной улицы до  $0,5 \cdot S_1$ ;

$i_{52}$  – число рядов зданий на удалении от оси ПЧ второстепенной улицы до  $0,5 \cdot S_1$ ;

Согласно п. 4.1.1. определяются значения  $M_i$  и  $C_{mi}$  для главной (1) и второстепенной (2) улиц:

$$M_{i1} = M_{01\Sigma} \cdot K_{zi1}; C_{mi1} = C_B 0,02 \cdot \sqrt{M_{i1} - 6};$$

$$M_{i2} = M_{02\Sigma} \cdot K_{zi2}; C_{mi2} = C_B 0,02 \sqrt{M_{i2} - 6},$$

$K_{zi1}$  и  $K_{zi2}$  – коэффициент защиты потребителей главной и второстепенной улицы.

Согласно п. 4.1.1. определяются значения  $N_i$  для главной и второстепенной улиц.

Нормативные потери от выбросов для главной и второстепенной улицы определяется по формулам:

$$П_{mn1} = \left[ \left( M_{01} \cdot C_{M0} + \sum_1^{i=3} (N_{i1} \cdot C_{mi1}) \right) \right] \cdot \Phi_z \cdot S_1 \cdot K_c, \text{ у.е./год,}$$

$$П_{mn2} = \left[ \left( M_{02} \cdot C_{M0} + \sum_1^{i=3} (N_{i2} \cdot C_{mi2}) \right) \right] \cdot \Phi_z \cdot S_2 \cdot K_c, \text{ у.е./год,}$$

где  $S_1$  и  $S_2$  – протяженность перекрестка по главной и второстепенной улицам, км.

Нормативные потери от выбросов на перекрестке ( $П_{mn}$ ) определяется простым суммированием:

$$П_{mn} = П_{mn1} + П_{mn2}, \text{ у.е./год.}$$

В практических задачах рассчитывают нормативные потери отдельно для исследуемых условий ( $П_{mни}$ ) и отдельно для эталонных условий ( $П_{mнэ}$ ). Разность между ними и будет искомой величиной экологических потерь от выбросов.

$$П_m = П_{mни} - П_{mнэ}, \text{ у.е./год.}$$

## 4.2. ТРАНСПОРТНЫЙ ШУМ

В методике рассчитываются потери от транспортного шума на линейных и конфликтных объектах.

### 4.2.1. ЛИНЕЙНЫЕ ОБЪЕКТЫ

Расчет потерь от транспортного шума производится по стоимости ущерба для здоровья людей. Годовые нормативные (по отношению к принятому нормативу:  $L_i \approx 35$  дБА) потери определяются по формуле:

$$P_{ЛН(и,э)} = \sum_1^{i=3} (K_{Li} \cdot N_i) \cdot \Phi_2 \cdot S \cdot C_B \cdot K_c, \text{ у.е./год},$$

где  $P_{ЛН(и,э)}$  – годовые нормативные потери в исследуемых условиях, у.е./год;

$P_{ЛНЭ}$  – годовые нормативные потери в эталонных условиях, у.е./год;

$N_i$  – число потребителей экологического воздействия – см. п. 4.1.1.

$K_{Li}$  – коэффициент удельных потерь национального дохода (ВВП) от повышенного уровня шума для каждой категории потребителей:

$$K_{Li} = 1,8 \cdot 10^{-7} \cdot L_i^{3,39} - 0,0312,$$

где  $L_i$  – приведенный (к потребителю) уровень шума, дБА;

$$L_1 = L_0 + \sum d_1 - \text{водители};$$

$$L_2 = L_0 + \sum d_2 - \text{пешеходы};$$

$$L_3 = L_0 + \sum d_3 - \text{жители},$$

где  $L_0$  – уровень произведенного шума, дБА;

$$L_0 = 4,3 + 10 \cdot \lg [Q \cdot V^2 \cdot (14 \cdot K_{nn} - 13)] + \sum d_0, \text{ дБА};$$

$Q$  – ИД, а/ч;

$V$  – СД, км/ч;

$K_{nn}$  – динамический коэф. приведения ТП;

$\Sigma d_0$  – сумма поправок при расчете производимого шума, дБА.  
 При расчете эталонного шума рассматриваются поправки ( $\Sigma d_{0\alpha}$ ), характеризующие эталонные условия движения. При расчете исследуемого уровня шума рассматриваются поправки ( $\Sigma d_{ou}$ ), характеризующие исследуемые условия движения.

В методике рассматриваются следующие поправки:

$d_\alpha$  – поправка на продольный уклон – см. табл. 8;

$d_H$  – поправка на отношение ширины улицы к сумме высот застройки ( $Bу/H$ ) – см. табл. 8.

$d_{nr}$  – поправка, учитывающая тип покрытия ПЧ – см. табл. 8.

$d_{iv}$  – поправка, учитывающая дисперсию скорости.

Таблица 8

**Значения поправочных коэффициентов  $d_x$   
 при расчете уровней шума [46,48]**

$d_\alpha$	Продольный уклон								
	$\alpha, \%$	1	2	3	4	5	6	7	8
	$d_\alpha$	0,5	0,8	1,2	1,5	2,0	2,3	2,7	3,0
$d_H$	Отношение ширины улицы $Bу$ к высоте застройки $H$ (с двух сторон)								
	$Bу/H$	1	1,5	2	3	4	5	6	8
	$d_H$	4	2,5	1,5	0	-1	-1,4	-1,7	-2,0
$d_z$	Озеленение (посадка деревьев)								
	тип	однорядная		двухрядная		трехрядная			
	$d_z$	-5		-8		-10			
$d_{пч}$	Покрытие проезжей части								
	тип	цементобетон		брусчатка		булыжник			
	скорость	40	1		1		2		
		60	2		3		5		
80		3		5		10			
$d_{эк}$	Экраны								
	тип	Окна обычные при открытой форточке			Окна специальные		Экраны		
	$d_{эк}$	-10...-12			-20...-28		-6...-24		

Принято:  $d_{IV} = 40 \cdot \lg(1 + I_V)$ , дБА,

$d_t$  – поправка, учитывающая средний возраст ТС.

Принято:  $d_t = 0,12 \cdot (t - 4)$ , дБА.

$d_z$  – поправка на озеленение – см. табл. 8.

$d_{эк}$  – поправка на экранирование – см. табл. 8.

$d_r$  – поправка на расстояние.

Принято:  $d_r = -14 \cdot \lg \frac{r}{7,5}$ , дБА,

где  $r$  – расстояние от середины траектории движения ближайшего ряда ТС до потребителя, м.

В принципе, возможны и другие поправки, например, на трамвайное движение [46], ровность покрытия и т.д., которые, однако, в методике не рассматриваются.

$\sum d_i$  – сумма поправок при расчете приведенного (к потребителю) уровня шума;

$\sum d_1$  – сумма поправок, относящихся только к водителям и пассажирам. Принято:  $\sum d_1 = -12$ , дБА.

$\sum d_2$  – сумма поправок, относящихся только к пешеходам.

Принято:  $\sum d_2 = dr_2 + d_{32}$ , дБА,

$\sum d_3$  – сумма поправок, относящихся только к жителям прилегающих зданий.

Принято:  $\sum d_3 = dr_3 + d_{33} + d_{эк}$ , дБА.

В практических задачах перед проведением расчетов задаются исследуемыми и эталонными условиями. Рассчитывают нормативные

потери отдельно для исследуемых условий ( $P_{ЛНн}$ ) и отдельно для эталонных условий ( $P_{ЛНэ}$ ). Разность между ними и будет искомой величиной потерь от транспортного шума:

$$P_L = P_{ЛНн} - P_{ЛНэ}, \text{ у.е./год.}$$

Поскольку во многих расчетах в качестве эталонной принимается, как правило, скорость  $V_э = 60$  км/ч, то вполне возможно, что из-за существенного снижения исследуемой скорости уровень шума окажется ниже эталонного, а потери от шума будут иметь знак «минус».

#### 4.2.2. КОНФЛИКТНЫЕ ОБЪЕКТЫ

При расчете потерь на перекрестках по п. 4.1.2. определяются параметры расчетных потоков для главной (1) и второстепенной (2) улиц. Для этих потоков по п.4.1.1. и 4.2.1. определяется число «потребителей» ( $N_i$ ) и уровень производимого шума ( $L_0$ ). Затем для каждой улицы рассчитывается суммарный уровень производимого шума:

$$L_{0\Sigma} = L_{01} + \Delta L_{02}, \text{ дБА – главная улица,}$$

$$L_{02\Sigma} = L_{02} + \Delta L_{01}, \text{ дБА – второстепенная улица, дБА,}$$

где  $\Delta L_{01}$  – приращение уровня шума на второстепенной улице от шума главной улицы, дБА;

$\Delta L_{02}$  – приращение уровня шума на главной улице от шума второстепенной улицы, дБА.

$$dL_{01} = (L_{0\Sigma} - L_{02}) \cdot \frac{S_2 + B_1}{2 \cdot S_2}, \text{ дБА,}$$

$$dL_{02} = (L_{02\Sigma} - L_{01}) \cdot \frac{S_1 + B_2}{2 \cdot S_1}, \text{ дБА,}$$

где  $L_{0\Sigma}$  – суммарный уровень произведенного шума, дБА:

$$L_{0\Sigma} = 10 \cdot \lg \left( 10^{0,1 \cdot L_{01}} + 10^{0,1 \cdot L_{02}} \right).$$

Для полученных таким образом суммарных уровней производенного шума ( $L_{01\Sigma}$  и  $L_{02\Sigma}$ ) по п. 4.2.1. определяются для каждой улицы нормативные потери от исследуемого ( $\Pi_{L_{НИ}}$ ) и эталонного уровня шума ( $\Pi_{L_{НЭ}}$ ). Нормативные потери на перекрестке определяется простым суммированием:

$$\Pi_{L_{НИ}} = \Pi_{L_{НИ1}} + \Pi_{L_{НИ2}}, \text{ у.е./год.}$$

$$\Pi_{L_{НЭ}} = \Pi_{L_{НЭ1}} + \Pi_{L_{НЭ2}}, \text{ у.е./год.}$$

Разность между исследуемыми и эталонными нормативными потерями и есть искомая величина потерь от транспортного шума на перекрестке:

$$\Pi_L = \Pi_{L_{НИ}} - \Pi_{L_{НЭ}}, \text{ у.е./год.}$$

## Раздел 5

### АВАРИЙНЫЕ ПОТЕРИ

*Аварийность* – одна из самых тяжелых и трагических потерь в дорожном движении. Если экономические и экологические потери равномерно распределяются среди всех членов общества, то аварийные потери концентрируются на отдельных участниках движения. И если на чью-то долю выпадает несчастье, то эти люди, как правило, остаются один на один со своим горем и проблемами, без существенной помощи общества.

Забота о своей безопасности должна быть главным мотивом каждого участника движения. Представляется, что в подавляющем большинстве аварий значительная доля вины лежит на участниках, так или иначе принявших неверное решение. Водители, чаще всего, ошибаются при выборе скорости, при выборе интервалов в процессе маневрирования и при оценке намерений конфликтующего участника. Пешеходы, чаще всего, ошибаются при выборе места перехода проезжей части и в оценке интервала до приближающегося транспорта. Почти во всех случаях имеет место или неправильная оценка ситуации или переоценка своих возможностей.

Различают *объективную* опасность, которая проявляется в несоответствии условий движения принимаемым решениям или режимам движения, как правило, скорости. Существует также *субъективная* опасность, которая заключается в субъективной оценке (а оценка всегда субъективна) объективной опасности. Реальная, фактическая или результирующая опасность зависит и от *объективной*, и от *субъективной* опасности и, главным образом, от соотношения этих опасностей. Если субъективная опасность несколько выше объективной, то в реальной ситуации будет иметь место некоторый запас безопасности и вероятность аварии весьма невелика. Если обе опасности, примерно, равны, то запаса безопасности, практически, нет и вероятность аварий возрастает [22]. Если же субъективная опасность ниже объективной (недооценка опасности), то движение происходит с большим риском и вероятность аварии чрезвычайно велика. Заметим, что большие отличия между субъективной и объективной

опасностью в любую сторону неприемлемы, поскольку они либо наверняка приводят к аварии, либо к такой перестраховке, которая не может быть принята другими участниками движения и провоцирует их на грубые нарушения или на очень опасное маневрирование.

Прежде чем принять какое-либо решение, каждый участник оценивает его (заметим весьма субъективно) с двух основных позиций – опасность и производительность. С одной стороны он кладет на чашу весов опасность, риск, а с другой стороны – производительность, выигрыш. Чем меньше риск и больше выигрыш, тем чаще он принимает этот риск.

Конечно, рискованные люди совершают много аварий. Как это ни странно, но и очень осторожные люди тоже часто попадают в аварию, потому что их сверхосторожное поведение провоцирует других на рискованные решения. Но не эти люди делают погоду в дорожном движении, потому что их очень мало – основную массу аварий совершают составляющие огромное большинство нормальные люди, не рискованные и не перестраховщики. Они, в силу ряда причин (обучение, заимствованный опыт, стадный эффект – делаю как все, и незнание своих истинных возможностей), недооценивают опасность и принимают повышенный риск, что часто приводит к аварии. Можно сказать, что это не столько их вина, сколько их беда. Исходя из сказанного, можно определить основные направления повышения безопасности движения – снижение объективной опасности и эффективное воздействие на мотивацию участников.

**Конфликты, коллизии и аварии.** Конфликты занимают особое место в дорожном движении и их разрешение является одной из самых актуальных задач. Слово «конфликт» означает столкновение сил, сторон, мнений, какое-либо противоречие, при этом само понятие очень емко – от маленьких физических (технических) конфликтов до огромных международных, часто вооруженных конфликтов. В дорожном движении также имеется много конфликтов – физические, экономические, экологические, социальные – все они важны и требуют разрешения. Здесь мы будем рассматривать только физические конфликты, которые делятся на три основных типа: столкновения или конфликт транспорт – транспорт (Т–Т); наезд на пешехода или конфликт транспорт – пешеход (Т–П) и потеря управляемости или конфликт транспорт – дорога (Т–Д). Сущность первых

двух конфликтов заключается в том, что два (или более) участника, в силу сложившихся обстоятельств, физически претендуют на одновременное занятие одной и той же пространственной точки на проезжей части. Сущность конфликта Т–Д заключается в нарушении нормального процесса взаимодействия в системе ВАДС (водитель–автомобиль–дорога–среда), что приводит к потере управляемости транспортным средством – занос, опрокидывание, движение по несанкционированной траектории (например, выезд на полосу встречного движения) и т.д.

Понятие «конфликт» имеет (так условимся) потенциальный смысл, ожидаемое событие, возможность события. Если же эта возможность уже реализована физически, стала свершившимся фактом, то такое событие будет называть *коллизией*. Слова коллизия и конфликт – синонимы, однако, мы условимся, что под термином «конфликт» будем понимать возможное событие, а под термином «коллизия» – реализованное событие.

Существует еще одно понятие – «дорожно–транспортная ситуация», – под которым понимается некоторое характерное состояние процесса движения в данной пространственной зоне в данный момент времени. Дорожно–транспортные ситуации определяются тремя конфликтами: Т–Т, Т–П и Т–Д, каждый из которых в конкретной ситуации может быть определяющим.

Конфликт Т–Д исследуется в известной системе ВАДС (водитель–автомобиль–дорога–среда)[23], которая, практически, не рассматривает взаимодействие между участниками движения. Поэтому система ВАДС пользуется популярностью, в основном, у представителей дорожных специальностей, а также при подготовке (обучении) водителей. По мере увеличения интенсивности движения возрастает значимость взаимодействия между участниками, которое уже сегодня в решающей степени определяет ситуацию в дорожном движении, особенно, в населенных пунктах.

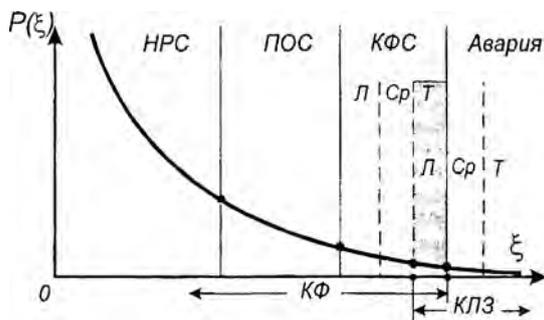


Рис. 5. Классификация дорожно-транспортных ситуаций [10]:  
 $\xi$  – опасность конфликтов или тяжесть последствий коллизий;  
 НРС – нормальная ситуация; ПОС – потенциально–опасная ситуация;  
 КФС – конфликтная ситуация; Л – легкая; Ср – средняя; Т – тяжелая

На рис.5, где по оси  $X$  отложен риск (опасность, тяжесть последствий), а по оси  $Y$  – вероятность появления данного риска, показано распределение дорожно–транспортных ситуаций по степени их опасности. Подавляющему числу дорожно–транспортных ситуаций (ДТС) свойственен незначительный риск. Такие ситуации – условно назовем их *нормальными*, характеризуются маломаневренным движением. При этом маневры, а это, как правило, смена полосы движения, делаются свободно, заранее подготовлены и, практически, не представляют опасности.

Существенно меньше вероятность т.н. *потенциально опасных ситуаций*, при которых совершается значительное количество маневров. И хотя маневры выполняются уверенно, уклончивые действия для избежания столкновений или наездов выполняются неспешно, в «служебном» режиме, при котором имеется определенный запас для ускорения маневра, не все потенциально-опасные ситуации заканчиваются благополучно. В ряде случаев время для *служебных* уклончивых действий бывает упущено и участникам приходится применять уже **экстренные уклончивые действия**, когда до момента столкновения или иной коллизии остается менее 1 с и усилить маневр уже невозможно. Такие ситуации называются *конфликтными*, и они условно делятся на легкие (очень опасно), средние (чудом пронесло) и тяжелые (имеет место коллизия,

но очень легкая, которая не привела к каким-либо существенным повреждениям – легкое столкновение, съезд с дороги, падение мотоциклиста без последствий и т.п.).

К сожалению, не все КФС заканчиваются благополучно – иногда не удается предпринять необходимые уклончивые действия, и возникают *коллизии*, которые также делятся на легкие, средние и тяжелые. Легкие коллизии, практически, не вызывают существенных физических повреждений – легкое столкновение, съезд с дороги, наезд на пешехода или падение мотоциклиста без последствий и т.д. Заметим, что многие авторы легкие коллизии совмещают с тяжелыми конфликтными ситуациями. Средние коллизии уже сопровождаются существенным повреждением машин, грузов, дороги, обустройства, гибелью или ранением крупных животных. Тяжелые коллизии связаны с ранением или гибелью людей.

Следует отметить, что четких границ между рассматриваемыми дорожно-транспортными ситуациями и их последствиями провести невозможно, так как переход от одного состояния к другому происходит довольно плавно и малозаметно. Поэтому имеются такие зоны (на рис. 5 одна из них заштрихована), в которых дорожно-транспортную ситуацию трудно отнести к какой-либо категории, скажем, скорее потенциально опасная, чем нормальная или, скорее конфликтная ситуация, чем коллизия и т.д. Это обстоятельство необходимо учитывать при определении аварии.

Что же такое авария? Существует несколько отличающихся определений аварии. В нашем контексте все они сходятся на том, что *авария – это нарушение нормального процесса дорожного движения, что в нем участвовало движущееся транспортное средство и что это нарушение привело к физическим повреждениям машин, грузов, дороги, обустройства, крупных животных, людей.*

В советской литературе для обозначения аварии в дорожном движении широко применялся и еще применяется предложенный В.В.Лукияновым термин «дорожно-транспортное происшествие» – ДТП [30]. Однако, как представляется, он не является ни совершенным, ни окончательным. Известен и широко применяется термин «авария» - железнодорожная, морская, воздушная... В каждой из них также участвует соответствующий вид транспорта, однако никто не пытается из называть «железнодорожно-транспортное происшествие»

или «морско-транспортное происшествие». Более того, понятие «аварийность», происходящее от слова «авария», никто не пытался заменить термином «дэтэпэшность» – от термина ДТП. И, наконец, в зарубежной литературе используется термин «авария» – accident – и никаких упоминаний о ДТП не встречается. В нашем случае правильным, как представляется, был бы термин «дорожная авария», а в контексте дорожного движения – просто «авария» – именно этот термин и будет применяться в данной работе.

Уже указывалось, что определить «начало» аварии, ее левую границу на рис. 5 довольно сложно. Во многих странах авариями принято считать коллизии, начиная, условно, с середины «легких», т.е. довольно существенные повреждения машин, грузов и т.д. При этом понятие «существенные повреждения» также четко не определено. В одних странах в это понятие включают более «мелкие» повреждения и граница аварий отодвинута несколько левее. В других странах отсчет аварий начинается с более серьезных повреждений и граница проходит правее, ближе к «средним» коллизиям. Это связано с несколькими причинами. Во-первых, как уже говорилось, очень трудно определить действительное «начало» аварии. Во-вторых, чем «мельче» аварии, тем больше их количество, а их оформление, учет и исследование требует значительно больших затрат, что многим не очень нравится. И, наконец, в-третьих, там, где количество аварий является оценочным критерием качества работы огромной ведомственной структуры, которая, к тому же, сама ведет оформление и учет этих аварий, авариями считаются только те коллизии, которые уже невозможно не считать авариями, т.е. повлекшие ранения или гибель людей. Как представляется, значительную роль в определении «авария» имеет форма компенсации за ущерб. В тех странах, где хорошо налажена система страхования и компенсация ущерба производится преимущественно через эту систему, учитываются более «мелкие» аварии. Очевидно, этот же фактор учитывается и при определении понятия «ранения» в аварии.

Что касается «конца» аварий (правая сторона на рис.5), то здесь, практически, все понятно – количество жертв может достигать нескольких десятков человек, особенно, при авариях с автобусами. Обычно такие аварии, где трагические последствия очень значительны, называются катастрофами, в данном случае, автомобильными катастрофами. Следует также отметить, что отдельные аварии,

связанные с перевозкой опасных грузов, могут сопровождаться очень большими экономическими или экологическими потерями, даже если в них не пострадали люди.

Известно, что чем «тяжелее» коллизия или «опаснее» дорожно-транспортная ситуация, тем меньше вероятность ее возникновения. Существуют определенные соотношения между «соседними» дорожно-транспортными ситуациями, часть из которых используется в прогнозировании аварийности. Например, установлено, что на 10000 конфликтных ситуаций приходится, примерно, от 2,5 до 10 аварий при невысоких (до 30 км/ч) скоростях движения, и от 10 до 50 аварий при высоких (более 30 км/ч) скоростях. Разумеется в разных странах и у разных исследователей эти цифры несколько отличаются, но порядок цифр остается неизменным, а закономерность – относительно стабильной. Что касается аварий, то, например, в США на одну аварию со смертельным исходом приходится, в целом по стране, около 315 аварий, из которых 35 с ранениями и 280 с материальным ущербом – 1:35:280. Для городов, где скорость существенно ниже, это соотношение имеет, примерно, следующий вид – 1:70:620, а для загородных дорог – 1:20:110. Необходимо отметить, что эти соотношения взяты из американской статистики 25-летней давности [1] и за все это время там наблюдается устойчивая тенденция уменьшения доли «тяжелых» аварий. Например, в 1996 году соотношение аварий в целом по стране было уже близким к 1:80:500.

Для Республики Беларусь подобные соотношения авторам неизвестны, однако, с определенной долей вероятности можно допустить, что они близки к следующим: для страны в целом – 1:5:40; для городов – 1:7:70; для загородных дорог – 1:4:20. Такие разительные отличия между американскими и белорусскими соотношениями объясняются многими факторами, среди которых можно выделить уровень автомобилизации и плотность движения, качество дорог, подвижного состава и медицинской помощи, качество организации движения и уже упоминавшаяся практика регистрации аварий, в первую очередь, определение их «начала».

Физический ущерб определяет *тяжесть последствий аварии*, по которой они традиционно делятся на 3 категории:

1 – *легкие*, их еще называют «аварии с материальным ущербом», при которых нанесен умеренный материальный ущерб, а люди не пострадали. Поскольку сегодня в статистическую отчетность они не входят и не исследуются, то они получили название «неотчетные».

2 – *средние*, при которых имели место ранения людей или нанесение очень большого материального ущерба. В некоторых случаях средние аварии можно разделить еще на несколько групп, например: ранение без госпитализации, ранение с госпитализацией и ранение, повлекшее инвалидность. В тех странах, например, в Республике Беларусь, где ранение без госпитализации, фактически, не считается ранением, возможна такая классификация: ранение с госпитализацией до 7 дней, ранение с госпитализацией свыше 7 дней и ранение, повлекшее инвалидность. Что касается классификации «легкое», «среднее» и «тяжелое» ранение, то в эти термины можно вкладывать различный смысл: например, под «легким» ранением можно понимать ранение без госпитализации или же ранение с госпитализацией на срок до 7 дней – все зависит от того, что заложено в нормативах конкретного государства. Разумеется, единая международная классификация здесь была бы весьма полезной.

3 – *тяжелые*, при которых имело место гибель людей или нанесение чрезвычайно большого материального ущерба. Представляет интерес понятие «погиб в аварии». Раньше одни считали так, если пострадавший погиб на месте, другие считали – если он умер в больнице в течении суток, третьи – в течение 7 дней, 30 дней, даже года. В целях унификации ООН постановила считать погибшим в аварии тех, кто погиб на месте или умер в больнице в течение 30 дней после аварии. Заметим, что таких насчитывается свыше 97% от общего числа погибших по причине аварии, при этом на месте аварии погибает около половины всех людей, считающихся погибшими в аварии.

Средние и тяжелые аварии получили еще название «аварии с пострадавшими» и, поскольку они входят в статистическую отчетность и исследуются, получили также название «отчетные».

**Классификация аварий** производится по нескольким признакам – тяжести последствий, виду аварии, количеству участников и даже по форме отчетности (помните – отчетные и неотчетные). Различные ведомства и авторы вводят свои классификации, в зависимости от поставленных задач и уровня компетентности. Мы уже рассмотрели варианты классификации аварий по тяжести последствий – материальный ущерб, ранения, погибшие. Классификация по видам часто меняется и на сегодня она выглядит, примерно, следующим образом:

– столкновения, в том числе встречные, попутные, боковые, поворотные, перестроения, с железнодорожным составом и т.д.;

- наезды, в том числе на пешехода, велосипедиста, гужевого транспорт, неподвижное препятствие, стоящее транспортное средство, впереди идущее транспортное средство, животное;
- опрокидывание;
- съезд с мостов и путепроводов;
- прочие.

В некоторых странах, принята классификация по видам, учитывающая количество транспортных средств, участвующих в аварии. Различают, например, аварии с одним транспортным средством – опрокидывание, наезд на препятствие и т.д., столкновения, аварии с пешеходами, велосипедистами и т.д.

Имеются классификации, учитывающие число вовлеченных в аварию участников: причины аварий; категорию пострадавших; участие детей и т.д.

*Учет* аварий производится тремя основными ведомствами: МВД, транспортниками и дорожниками, а аварии с пострадавшими учитываются еще и медиками. Основные функции по учету аварий выполняет подразделение МВД – ГАИ, представители которой выезжают на место совершения аварии, где оформляют протокол и, при необходимости, выполняют другие действия, например, взятие объяснений с участников, опрос свидетелей и т.д. Представители транспортных или дорожных предприятий, если они присутствуют, ассистируют работнику милиции и заполняют свои ведомственные формы. Одна из основных задач этих представителей заключается в защите интересов своих организаций.

*Протокол* осмотра места аварии является основным первичным документом и должен содержать всю необходимую информацию: сведения о работниках милиции, понятых и свидетелях; время, место и погодные условия на момент составления протокола; то же самое на момент аварии; детальное описание, включая схему аварии, положение участников или машин, следы торможения, осыпь грязи или осколков, состояние машин и участников; заявления и объяснения; особые мнения и любые другие сведения, касающиеся аварии. Следует отметить, что из-за слабой технической вооруженности инспектора, невысокой классификации и по ряду других причин протоколы составляются плохо и в них часто отсутствуют самые необходимые сведения. Это не только затрудняет исследование данной аварии и установление истины, но и способствует появлению самых грязных злоупотреблений и махинаций. К сожалению, практически

совсем не применяются современные методы и аппаратура, например, объемная фотосъемка, исключающие необъективность и namного ускоряющие процесс оформления документов, – последнее особенно важно при высокой транспортно-пешеходной нагрузке.

Представляется, что вся информация об аварийности (как и об остальных составляющих стоимости транспортных услуг) должна накапливаться в специально созданном для этого центре, откуда она будет передаваться потребителям. Общеизвестно, что нельзя оптимально управлять каким-либо процессом без детальной информации о нем, что расходы на получение этой информации в десятки, сотни и, даже, тысячи раз меньше потерь от неоптимального управления. Поэтому ситуация с так называемыми «неотчетными» авариями, при которой около 80% информации об аварийности не собирается и не анализируется, представляется не только дикой, но и преступной. Тем более, в стране, в которой уровень аварийности (по погибшим) в разы превышает подобный уровень в развитых странах.

*Оценка опасности участка или вида транспортного средства* производится по фактическому состоянию аварийности. Оценочные показатели делятся на 3 вида: абсолютные, относительные и сравнительные.

Таблица 9

**Классификация и коэффициенты приведения аварий по тяжести последствий,  $K_{на}$  [10]**

Страна, год, автор	Герман. 1938 Рейн-гольд	ФРГ 1960 Битцль	ГДР 1967 Фишер	СССР 1968 Дивочкин	США 1972	СССР 1976 норматив
неотчетная	–	–	–	1	–	–
без пострадавших	1	1	1	3	1	1
ранения: легкие	5		2	8,2		1,2
тяжелые	70	30	8	118,2	7	28
гибель: св. 16 лет до 16 лет	130	100	40	140	170	81 106

К *абсолютным* показателям относятся общее число аварий или их модификаций, например, число аварий со смертельным исходом, число аварий с пострадавшими (в советской и постсоветской системах учета эта модификация используется как основной показатель); число аварий по вине данной категории участников и т.д. В некоторых случаях вместо абсолютного числа аварий,  $n_a$ , может использоваться так называемое приведенное число аварий  $n'_a = \sum (n_{ai} \cdot K_{nai})$ , где  $n_{ai}$  — число аварий данной тяжести последствий,  $K_{nai}$  — коэффициент приведения аварий данной тяжести к авариям с материальным ущербом (см. табл. 9), который, вроде бы, учитывает и материальную и социальную составляющие аварийных потерь.

Следует отметить, что такое приведение является весьма грубым и поэтому многие исследователи от него отказываются, особенно, когда число аварий незначительно. Например, если на одном участке произошло 20 аварий в год, но все они с материальным ущербом или легкими ранениями, а на другом — всего лишь одна авария, но со смертельным исходом, то, согласно нормативу 1976 года, которого никто не отменял, опасность второго участка почти в четыре раза выше:

$$n'_{a1} = 10 \cdot 1 + 10 \cdot 1,2 = 22,$$

$$n'_{a2} = 1 \cdot 81 = 81.$$

Вместе с тем, и это очевидно, нельзя игнорировать приведение аварий по тяжести последствий. Поэтому, думается, здесь должен быть найден разумный компромисс.

*Удельные показатели* представляют собой долю одного абсолютно показателя от другого. Обычно они используются для количественного описания структуры аварийности. Получили распространение такие показатели, как доля аварий данного вида в общем числе аварий, доля аварий с участием детей, с нетрезвыми водителями и т.д.

*Относительные показатели* вычисляются путем деления абсолютно показателя на какой-либо параметр, имеющий отношение в дорожному движению, например, число жителей в стране, число автомобилей, число автомобиле-километров пробега. Наиболее употребительными являются следующие показатели:

$Y_{a1}$  – число аварий на 1 млн автомобиле-километров пробега – наиболее общий и объективный показатель для крупных регионов и целых стран;

$Y_{a2}$  – число аварий на 1 млн прошедших через объект автомобилей (через мост; путепровод, перекресток и т.п.);

$Y_{a3}$  – число аварий на 10 тыс автомобилей;

$Y_{a4}$  – число аварий на 1 млн жителей;

$Y_{a5}$  – число аварий на 1 км дороги.

*Сравнительные показатели* вычисляются путем деления относительных показателей исследуемого участка на одноименные относительные показатели эталонного участка. Например, дорожники в качестве эталонного приняли прямой горизонтальный участок двухполосной дороги с проезжей частью шириной 7,5 м, укрепленными обочинами по 3 м и среднесуточной интенсивностью движения 5000 а/сутки (около 250 а/час в каждом направлении). Наиболее объективными и удачным сравнительным показателем считают предложенный проф. В.Ф.Бабковым [3] коэффициент аварийности:

$$K_{ав} = \frac{Y_{a1 \text{ исследуемого участка}}}{Y_{a1 \text{ эталонного участка}}}.$$

При этом оказалось (поскольку  $Y_{a1}$  эталонного участка = 1), что коэффициенты аварийности,  $K_{ав}$ , численно равны значению  $Y_{a1}$  исследуемого участка, что очень удобно и наглядно. К сожалению, попытки найти приемлемые эталоны для пешеходных переходов, перекрестков и т.п., пока не дали желаемых результатов.

При *сравнительной оценке видов транспортных средств* сопоставляются относительные показатели  $Y_a$  для исследуемого вида транспортного средства и легкового автомобиля.

При *сравнительной оценке опасности отдельных видов аварий* сопоставляется тяжесть последствий данного вида и наиболее «легкого» - попутного столкновения. В табл.10 приведены значения  $K_a$  для отдельных видов аварий, полученные М.Юхневичем в 1990 году

по результатам анализа 18000 аварий по Минску и Минской области. Видно, что самыми «тяжелыми» являются наезды на пешехода – практически в каждой из них имеются раненые или погибшие (иначе они не фиксируются). Далее идут встречные столкновения, которые особенно опасны за городом из-за высоких скоростей.

Таблица 10

Классификация исследуемых конфликтов [9]

№ п/п	Типы КФ	Виды конфликты		Δ, %	Кат	Кв2
		Схема	Наименование			
1	Т-Т		попутный	35	1,0	3,0
2			встречный	5	4,6	1,0
3			боковой	10	1,5	1,2
4			поворотный	12	1,2	1,1
5			маневровый (перестроение)	12	1,0	1,6
6	Т-П		Т-поперечный ПЕШ	18	9,2	1,2
7			Т-продольный ПЕШ	1	9,2	1,0/3,0
8			поворотный Т-ПЕШ	0,5	9,2	1,6/1,2
9	Т-Д		наезд на препятствие	5	3,1	
10			опрокидывание	0,5	2,3	

Δ – доля аварий данного вида в исследуемой выборке;  $K_{ат}$  – сравнительный коэффициент аварийности по тяжести последствий, подсчитанный по табл.9, последний столбец.

### Анализ аварийности

Анализ аварийности является составной частью работ по оценке качества дорожного движения и основой для разработки мер по повышению безопасности движения. Можно выделить три основных уровня анализа аварийности: государственный, ведомственный и инженерный.

– На *государственном уровне*, где решаются стратегические задачи, от анализа требуются укрупненные показатели – общий

уровень аварийности, тяжесть последствий, динамика, тенденции. Исходя из этого корректируются нормативы, методы и структура управления, финансовая политика и т.д.

– На *ведомственном уровне* решаются свои специфические задачи. Скажем, транспортников больше интересуют те стороны аварийности, которые связаны с повышением квалификации и с режимом труда водителей, неисправностью транспортных средств и т.д. Дорожников больше интересуют аварии, связанные с состоянием дорог и обустройства, а правоохранительные органы – с профилактикой правонарушений и т.д.

– На *инженерном уровне* решаются организационно-технические задачи, связанные с аварийностью в данной ограниченной местности, в отдельных очагах или на предприятиях.

Сегодня сложилось такое положение, при котором проводимый анализ аварийности, практически, не соответствует требованиям ни одного из приведенных уровней. Он не раскрывает истинное положение вещей, сильно идеологизирован и не способствует совершенствованию дорожного движения. Скорее наоборот, он не отображает действительность и явно способствует продолжающемуся движению в тупиковом направлении.

Можно допустить, что нынешний анализ аварийности в наибольшей степени удовлетворяет потребностям государственного уровня. И только потому, что государство очень мало делало для повышения безопасности движения. Хорошо известно, что аварийность – объективное явление, тяжелая издержка дорожного движения и приукрашивание положения, заклинания, самообман здесь ничего не дадут, кроме продолжающегося ухудшения. Для решения проблемы необходимы упорные усилия, объективная оценка ситуации, точный диагноз. А как может быть получен точный диагноз, если, как уже говорилось, около 80% аварий не исследуются и не анализируются!

Различают 4 вида анализа аварийности:

– *количественный*, который отвечает на вопросы что, где, когда, показывает динамику аварийности и т.д. Для иллюстрации в табл.11 показано распределение аварийности по видам в г.Минске за 1991 год.

При этом заметим, что анализ аварий без пострадавших (84,4%) выполнен по личной инициативе работников ГАИ.

**Распределение аварийности по видам  
в г. Минске в 1991 г. [9]**

Виды аварий	Всего		С пострадавшими		
	к-во	%	к-во	%	$\frac{N_a \cdot \text{пострадо}}{N_a \cdot \text{всего}} \%$
Столкновения	4065	76,2	180	21,6	4,4
в т.ч. попутные	1745	42,9	41	22,8	2,3
встречные	293	7,2	39	21,7	13,3
боковые и поворотные	729	17,9	61	33,8	8,4
маневровые	1298	32,0	39	21,7	3,0
Наезд на препятствие	271	5,1	33	4,0	12,2
Опрокидывание	36	0,7	12	1,4	33,3
Наезд на пешехода	659	12,4	597	71,7	90,6
Прочие виды	301	5,6	11	1,3	3,7
Итого	5332	100	833	100	15,6

– **качественный**, который отвечает на вопрос: почему, по какой причине. Различают 4 основных блока причин: водитель, пешеход, транспортное средство, дорожные условия. Следует заметить, что на одну аварию приходится несколько причин (по некоторым данным – до 2,5) и что установление причин, выполняемое, как правило, работниками ГАИ, дело чрезвычайно субъективное, подверженное моде, воле руководства, степени компетентности данного работника и т.д. Одно время, еще до широкого внедрения радарных измерителей скорости, свыше 70% всех аварий совершались по причине «превышения скорости». Рассуждали очень просто: виноват водитель – если бы скорость была меньшей, не было бы аварии. Затем, после соответствующих указаний, число аварий по причине «превышения скорости» за один год упало с 70% до 13% – эта величина, примерно, фигурирует и сейчас. По той же причине резко подскочила «виновность» дорожных условий. До сих пор среди специалистов в мире нет единства по вопросу «виновности» дороги – одни считают ее причиной до 70% аварий, другие – в десять раз меньше!

– **топографический**, который отвечает на вопрос: где на местности совершаются аварии. На рис. 6 показан упрощенный вариант

топографического анализа аварийности (с пострадавшими, показана, примерно, половина аварий) в г.Минске за 1991 г. Видно, что наибольшее число аварий сосредоточено вдоль магистральных улиц и в центральной части города, где преобладают наезды на пешеходов.

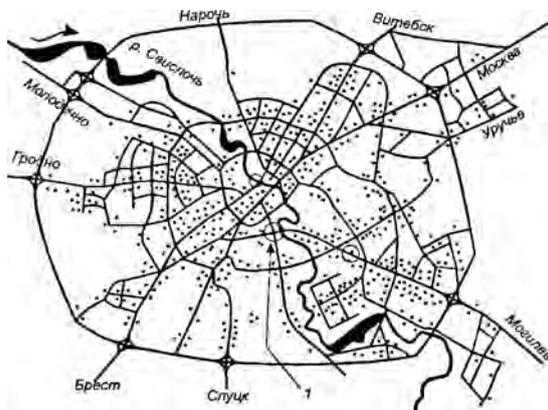
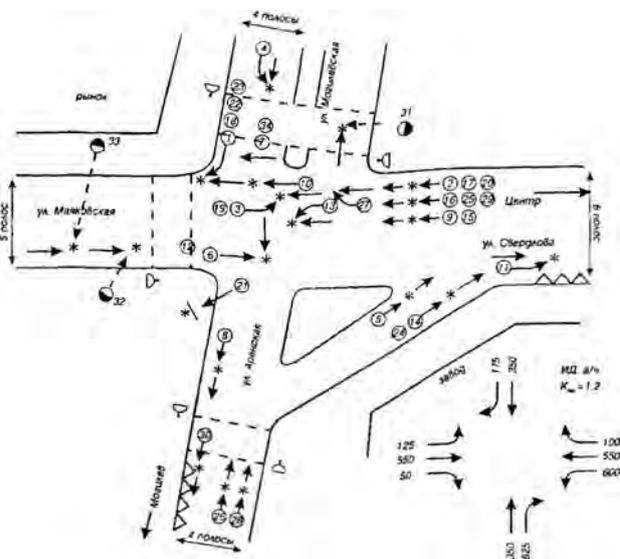


Рис.6. Топографический анализ аварийности в г.Минске в 1991 г.[9]: (Упрощенный вариант – показано, примерно, половина из 833 аварий с пострадавшими). Кольцевая автодорога административно в 1991 г. не входила в г. Минск. 1 - участок УДС, показанный на рис.7

– **очаговый**, который является разновидностью топографического и заключается в нанесении возможно большего количества информации об аварийности на масштабной схеме элементарного участка с последующим всесторонним исследованием этой информации. На рис. 7 показан фрагмент очагового анализа – схема перекрестка с нанесенными данными об аварийности. Стрелками показаны траектории движения транспортных средств и пешеходов (пунктирные стрелки), крестик – место совершения аварии, кружок указывает номер аварии, виновность участника и тяжесть последствий (полностью заштрихован – гибель, наполовину – ранение, не заштрихован – материальный ущерб). В спецификации указывается время аварии, характерные причины, тип транспортного средства и другая интересующая информация. Исследование очагов аварийности позволяет найти наиболее вероятные причины аварийности и, устранив их, резко уменьшить количество аварий и тяжесть последствий.



1 - 15.01. 11:45;	9 - 01.09. 08:00;	(участв. 3 ТС);	22 - 21.06. 12:05;	29 - 25.04. 18:30;	30;
2 - 28.03. 16:15;	10 - 27.07. 17:20;	16 - 02.10. 19:00;	23 - 11.06. 11:45;	30 - 29.04. 16:10;	10;
3 - 09.03. 12:40;	11 - 23.08. 16:25;	17 - 2.10. 18:10;	24 - 22.06. 18:30;	31 - 26.07. 14:00;	
4 - 16.08. 12:10;	12 - 14.08. 15:30;	18 - 16.01. 11:45;	25 - 24.04. 16:00;	32 - 18.08. 7:00;	
5 - 10.08. 17:45;	13 - 16.08. 17:45;	19 - 9.03. 16:15;	26 - 22.04. 17:50;	33 - 01.09. 12:50;	
6 - 15.08. 15:30;	14 - 10.08. 12:10;	20 - 28.03. 12:40;	(участв. 3 ТС);	34 - 10.11. 13:10;	
7 - 27.09. 11:00;	(участв. 4 ТС);	21 - 17.03. 18:40;	27 - 03.04. 18:30;		
8 - 14.09. 07:00;	15 - 01.10. 8:00;	(лопнул т.шланг);	28 - 23.04. 15:30;		

Рис. 7. Аварийность на перекрестке  
Свердлова—Аранская—Маяковская—Могилевская за 1988 г. [9]

Очаговый анализ аварийности на инженерном уровне имеет решающее значение – он приводит к довольно быстрым и конкретным результатам. Тем более, если учитывать, что около 70% всех аварий совершается в очагах, (т.н. очаговая аварийность) и только 30% – на остальной части улично-дорожной сети (т.н. фоновая аварийность) [7]. В качестве очага аварийности принято считать конфликтный объект (перекресток, пешеходный переход, зона остановочного пункта общественного транспорта и т.д.) или небольшой – до 1 км – участок дороги, например, поворот, сужение, ухудшение видимости и т.д., где ежегодно происходит не менее 3 аварий.

Разумеется, невозможно построить улично-дорожную сеть без очагов аварийности, однако, их количество и «мощность» (производительность) очень сильно зависит от компетентности, ответственности и заинтересованности проектировщиков, дорожников и организаторов движения. Очаговая аварийность, в определенном смысле, отвечает на вопрос: *где* происходит отказ в работе системы «водитель – автомобиль – дорога – среда», где уровень опасности превышает некие допустимые нормы. Фоновая аварийность, в большей мере, отвечает на вопрос: *когда* происходит отказ, как часто он происходит, какова наработка (пробег) на отказ. Фоновые аварии с равной вероятностью могут произойти в любое время, на любом участке улично-дорожной сети. Скажем, отказ тормозов, рулевого управления, разрыв шины, столкновение в тумане, занос на обледенелой дороге, и т.д. могут быть «подготовлены» заранее и произойти в любой момент. Фоновые аварии, как представляется, больше характеризуют общий уровень автомобилизации в стране и бороться с ними значительно труднее, хотя, конечно, можно и нужно.

*Исследование (экспертиза) отдельной аварии* выполняется для решения задач юридического характера с целью воссоздания условий возникновения и механизма протекания аварии. Основными задачами являются установление положения и скорости движения участников до аварии, установление момента начала уклончивых действий (чаще всего, торможения) и т.д.[5,15]. На основании результатов исследования определяется, имели ли участники техническую возможность избежать аварии, а суд устанавливает степень виновности и ответственности каждого участника. Анализ отдельной аварии требует очень точных исходных данных, что, в свою очередь, требует аккуратного и профессионального составления первичных документов. Именно поэтому, документы должны составляться объективными профессионалами с максимальным использованием объемной фотографии, что, кроме сокращения сроков оформления документов (а это само по себе довольно важно, т.к. на месте аварии всегда создаются весьма дорогостоящие транспортные затруднения), еще позволяет фиксировать многие, казалось бы незначительные детали, которые затем оказываются чрезвычайно важными.

Следует отметить, что хотя экспертиза отдельной аварии не является, в прямом смысле, анализом аварийности, тем не менее, результаты

множества экспертиз позволяют выявить очень многие закономерности. Поскольку результаты экспертизы оказывают непосредственное влияние на судьбу конкретных людей, то она должна выполняться в установленном порядке, по утвержденным методикам и с очень высокой ответственностью. Более того, результаты экспертиз, их анализ и обобщение должны, как уже упоминалось, храниться в специальном центре и быть доступны исследователям дорожного движения. К сожалению, сегодня мы не имеем ни надлежащей ответственности за результаты экспертиз, ни доступности к этим результатам – представляется, что они должны публиковаться, пусть без фамилий и номеров транспортных средств.

### **З а в и с и м о с т ь   а в а р и й н о с т и**

Уже упоминалось, что аварийность зависит от 4 основных групп факторов: человек, транспортное средство, дорожные условия и организация движения. Есть еще одна группа – погодно-климатические условия, но мы ее отдельно рассматривать не будем и отнесем к группе «дорожные условия». Очень кратко рассмотрим эти факторы.

**Человек.** Известно, что аварийность зависит от психофизиологических качеств человека – водителя, пешехода, возчика и т.д. Здесь социальная (психологическая) составляющая определяет его мотивацию, его поведение, которое проявляется в принятии тех или иных решений. Физиологическая составляющая определяет возможности человека–оператора и связана с известной цепочкой действий: оценка ситуации – оценка своего положения и возможностей – принятие решения – исполнение команды. При этом возможна повторная, ускоренная оценка ситуации и своих действий и корректировка решений. Все эти действия выполняются не мгновенно, а в реальном масштабе времени, очень соизмеримым с фактически располагаемым временем, при этом, чем меньше располагаемого времени, тем больше вероятность ошибки и опаснее ситуация. Поскольку у каждого человека есть свои особенности – один хорошо и быстро «читает» дорогу, но медленно принимает решения, другой – наоборот, третий имеет проблемы с исполнением команд, четвертый – плохо видит или слышит – и редко кто делает все быстро и хорошо, то каждому человеку для правильных действий необходимо свое время и

в данной конкретной дорожно-транспортной ситуации от каждого можно ожидать неоптимальных действий, особенно, при дефиците времени. А время, как известно, связано со скоростью, видимостью, четкостью движения конфликтующих участников и прогнозируемостью действий и т.д. Что касается нетрезвого состояния, бахвальства, агрессивности и т.п., то они всегда играют однозначно отрицательную роль и несовместимы с понятием «безопасность движения».

**Транспортные средства.** Конструктивная безопасность транспортных средств оговаривается многочисленными нормативами и является одним из основных свойств, одним из главных оценочных критериев качества[11]. Этому вопросу посвящается целая дисциплина – безопасность транспортных средств – и уделяется особое внимание при проектировании и производстве транспортных средств, особенно, автомобилей. Различают 3 основных вида безопасности транспортных средств: активная, пассивная и послеаварийная.

*Активная безопасность* – это свойство автомобиля, позволяющее снижать вероятность возникновения аварии, т.е. предотвращать ее. Она во многом зависит от:

– *компоновочных параметров* – габаритов, наличия полуприцепов, в т.ч. управляемых, нагрузки на ось и т.п.

– *тяговой динамики*: скорость и ускорение, которые связаны с характеристиками двигателя, передаточными числами трансмиссии, массой и т.д.

– *тормозной динамики*, основные требования которой таковы: время срабатывания тормозной системы должно быть минимальным (0,2 с – для гидравлического привода, 0,3 с – для пневмогидравлического и около 0,4 с – для пневматического привода), а замедление автомобиля – максимальным (примерно,  $a \approx 10 \cdot \phi$ , м/с<sup>2</sup>, где  $\phi$  - коэффициент сцепления колеса с дорогой). Все колеса должны затормаживаться одновременно с одинаковой интенсивностью; тормозные силы на колесах должны нарастать плавно и соответствовать усилию на тормозной педали; не должно быть заеданий и заклиниваний, торможение не должно вызывать потерю устойчивости; усилия на педали тормоза не должны превышать физических возможностей водителя. Для достижения этих требований применяют раздельное или комбинированное торможение по осям, усилители тор-

мозных сил, антиблокировочные системы. В работе антиблокировочных систем используется принцип прерывания торможения в тот момент, когда проскальзывание колеса по отношению к дороге достигает заданной величины. Известно, что максимальное торможение достигается при определенной величине проскальзывания (около 20%), т.е. задолго до наступления юза, когда проскальзывание становится равным 100%. Специальные безконтактные датчики следят за проскальзыванием колеса и в заданный момент автоматически отключают и затем включают тормозной привод при постоянно нажатой тормозной педали. Таким образом достигается двойной эффект – все колеса тормозят одинаково, что существенно предотвращает занос, и наиболее эффективно, что уменьшает тормозной путь;

— *устойчивости*, которая, в свою очередь, делится на курсовую, поперечную и продольную.

*Курсовая* устойчивость – это свойство автомобиля двигаться прямолинейно при неизменном положении руля. Известно, что каждый автомобиль в той или иной степени произвольно меняет направление (рыскает) и водитель вынужден поворотом рулевого колеса корректировать направление движения. При высоких скоростях движения и скользкой дороге это может привести к заносу. Курсовая устойчивость зависит от угла установки передних колес, люфта в рулевом управлении, износа шин и т.п.

*Поперечная устойчивость* проявляется при движении на поворотах, когда возникает центробежная сила, которая вызывает занос или опрокидывание автомобиля. Поперечная устойчивость зависит от многих параметров, в том числе, расположения центра тяжести по высоте и длине, соотношения базы и колеи, характеристик подвески и стабилизаторов поперечной устойчивости, характеристик шин, рулевого привода, скользкости и наклона (виража) дороги и т.д.

*Продольная* устойчивость проявляется в буксовании ведущих колес на подъемах и, очень редко, в опрокидывании транспортного средства вдоль продольной оси. Зависит от числа и расположения ведущих мостов, развесовки автомобиля по осям, расположения центра тяжести, уклона и скользкости дороги.

— *управляемости автомобиля* – способности двигаться по заданной водителем траектории. Различают избыточную и недостаточную поворачиваемость. В первом случае при малом повороте

рулевого колеса автомобиль поворачивает на угол, больший заданного; во втором случае – наоборот, меньше заданного. И то и другое очень опасно, особенно, в конфликтных ситуациях, когда у водителей нет времени для корректировочных действий. Управляемость зависит от характеристики шин (т.н. увод колеса, когда при очень мягких шинах диск поворачивается сам по себе, а шина – сама по себе), характеристик рулевого управления, подвески, продольного расположения центра тяжести и т.д.

— *плавности хода* – свойства автомобиля двигаться по неровным дорогам без больших колебаний подрессоренной массы. Если плавность хода недостаточна, на водителя (и пассажиров) передаются большие колебательные нагрузки, вызывающие утомление и потерю здоровья (опущение желудка, сердечно-сосудистые и психические заболевания, заболевания позвоночника и т.д.). При отрыве колес от дороги теряется управляемость и устойчивость. Плавность хода зависит от качества подвески, шин, виброизоляции салона и качества рабочего места водителя.

— *информативности автомобиля* – свойства, обеспечивающего участников движения необходимой информацией. До 90% всей информации участники получают визуально, остальное – звуковая и тактильная (вибрация, перемещение, наклоны и т.д.) информация.

*Внутренняя информативность* обеспечивает информацией водителя внутри автомобиля – приборы, обзорность, сигнализаторы и т.д.

*Внешняя информативность* обеспечивает информацией и водителя и других участников движения – головной свет и его модификации, сигнальные фонари, указатели поворота, световозвращатели, звуковой сигнал и т.д.

— *рабочего места водителя*, которое в сильнейшей степени влияет на безопасность и производительность движения. Оно определяется характеристиками сиденья и его возможностью приспособляться к *любому* водителю, а также органами управления и физико-химическими условиями в кабине или салоне. Это довольно сложные системы, компенсирующие разброс физических данных водителя, и защищающих его от вибрации, шума, загазованности, холода, однообразия и т.д. Они включают многочисленные (до 4) регулировки сиденья, системы шумо- и виброизоляции, системы отопления и вентиляции, а во многих машинах – кондиционеры, стереоприемники, защиту от нетрезвых водителей и т.д.

— *эксплуатационных свойств*, которые характеризуют надежность и долговечность автомобиля и определяют работоспособность и безопасность всех систем в течение заданного периода времени или заданного пробега. Особенно это касается тормозной системы, рулевого управления, шин и т.д., непосредственно обеспечивающих безопасность движения.

**Пассивная безопасность** – это свойство автомобиля уменьшать тяжесть последствий в случае коллизии или аварии. Различают внутреннюю и внешнюю пассивную безопасность.

— *Внутренняя пассивная безопасность* предназначена для предохранения водителя и пассажиров от повреждений. Реализуется следующими методами:

– уменьшение инерционных нагрузок: детали передней и задней части автомобиля делают менее жесткими и при ударах они сминаются, уменьшая ускорения и снижая ударные нагрузки; рулевая колонка, воспринимающая нагрузку от верхней части тела водителя, с помощью различных устройств – пружины, гидравлика, штифты, упругие материалы и т.д. – перемещается вдоль оси и демпфирует инерционную нагрузку. При этом рулевое колесо имеет такую конструкцию и покрыто такими материалами, чтобы давление на грудную клетку оставалось в допустимых пределах и не вызывало опасных переломов;

– ограничение перемещения людей – это, в первую очередь, ремни безопасности, преимущественно, плечево-поясные, снабженные инерционными катушками, сигнальными лампами и т.д. Это подголовники, предотвращающие перелом шейных позвончиков при ударе сзади. Это надувные подушки, закрепленные перед головой, коленами или смонтированные в ремнях, срабатывающие от пиропатронов при ударах; это различные конструкции безопасных сидений, демпфирующих удары и т.д.;

– сохранение «жизненного пространства» – салон или кабина автомобиля делаются относительно жесткими с тем, чтобы даже при ударах или опрокидываниях внутри оставалось пространство, позволяющее находиться в нем людям;

– устранение травмоопасных деталей – все детали внутри салона или кабины не должны иметь острых форм, должны быть, по возможности, закрыты мягкими материалами или накладками.

Лобовые стекла при разбивании не должны рассыпаться на травмоопасные осколки. С этой целью их делают либо трехслойными – внутри прозрачная пленка или тонкая металлическая сетка – либо закаленными, рассыпающимися при ударе на мелкие малоопасные осколки.

– *Внешняя пассивная безопасность* – предназначена для уменьшения повреждений самого автомобиля или участников движения. Реализуется следующими методами:

– демпфирующие бамперы, которые при ударах поглощают значительную часть энергии за счет применения различных устройств и материалов. Сегодня имеются конструкции, полностью сохраняющие легковую машину при ударах со скорости до 16 км/ч;

– наклонная форма передней части автомобиля, форма и расположение бампера позволяют при наезде на пешехода не валить его перед машиной, а опрокидывать на капот, спасая ему жизнь;

– снаружи автомобиля не должно быть никаких выступающих деталей, а формы кузова должны быть плавными и округлыми, что увеличивает вероятность касательных столкновений и наездов, спасающих жизнь. Боковые зеркала должны иметь плавные формы, мягкие материалы и откидываться при ударах;

– большие грузовые машины и автопоезда должны иметь ограждения, препятствующие въезду под них легковых автомобилей сзади или сбоку. Длиннобазные автомобили и автопоезда должны быть соответствующим образом обозначены в светлое и темное время суток.

*Послеаварийная безопасность* – свойство автомобиля, позволяющее предотвращать возникновение новых опасных последствий уже после аварии. К таким последствиям можно отнести: трудность или невозможность своевременной эвакуации людей из машины; возгорание машины и быстрое распространение пламени и удушливых газов; взрыв топливного бака; быстрое проникновение воды в салон при затоплении.

Трудности эвакуации определяются, чаще всего, заклиниванием дверей или отсутствием люка. Если автомобиль несильно деформирован, то эвакуацию можно произвести через оконные проемы, которые должны иметь соответствующие размеры. Если это невозможно, необходимо применение специальных ножниц или сварки (резки).

Пожары, чаще всего, возникают от соприкосновения паров топлива с раскаленными выхлопными коллекторами или из-за искрения

в неотключенной системе электрооборудования. Для предотвращения этого применяются инерционные датчики отключения аккумуляторной батареи, а топливопроводы стараются, к сожалению, далеко не всегда, не проводить вблизи выхлопных коллекторов. Расположение бензобака в самом безопасном месте, соответствующее устройству пробки, наличие огнестойких перегородок между баком и салоном, защита от статического электричества и т.д., также должны уменьшать вероятность возникновения пожара. Отделка салона должна предотвращать быстрое распространение пламени и возникновение удушливых газов – к сожалению, в реальной жизни это не совсем так. Наличие эффективного огнетушителя (как правило, пенного) позволяет потушить пожар на самых ранних стадиях его возникновения. Что касается спасения людей из затопленного автомобиля, то это зависит от самообладания людей и знания приемов эвакуации. Как следует из литературы, решающий этап эвакуации – открытие дверей, люков или окон – необходимо начинать при почти полном затоплении салона и действовать решительно, но без спешки. Продолжительность нахождения под водой без воздуха, также как и в горящей машине, ограничена временем, порядка 1,5 минуты, что, с одной стороны, крайне мало, а с другой стороны, вполне достаточно, чтобы покинуть терпящий бедствие автомобиль и спастись.

В этой связи не может не вызвать удивления инструкция, часто встречающаяся в наших автобусах и троллейбусах: «При аварии разбить стекло молотком. Молоток у водителя».

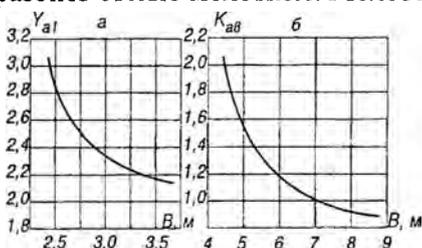


Рис. 8. Зависимость аварийности от: ширины полосы – а [33] и ширины проезжей части – б [3].

**Дорожные условия.** Зависимость аварийности от дорожных условий очень хорошо изложена в работе В.Ф.Бабкова «Дорожные условия и безопасность движения» [3]. Помещенные ниже материалы, в основном взяты из этой работы. Для удобства восприятия некоторые зависимости будут пред-

ставлены в графическом виде с очень кратким комментарием.

Зависимость аварийности от ширины проезжей части двухполосной дороги показана на рис. 8. где по оси ординат отложен

коэффициент аварийности  $K_{ав}$ , а по оси абсцисс – ширина проезжей части  $B$ , в метрах. Видно, что с увеличением ширины проезжей части аварийность снижается, стабилизируется около значения ширины 7,5...8 м. Практически, аналогичная зависимость аварийности от ширины полосы движения – с увеличением ширины полосы аварийность снижается, стабилизируясь где-то около ширины 3,5...3,7 м.

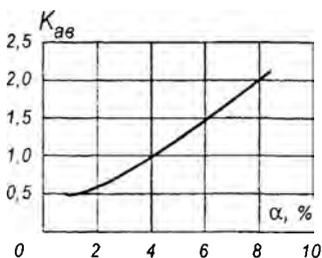


Рис.9. Зависимость аварийности от продольного уклона [3].

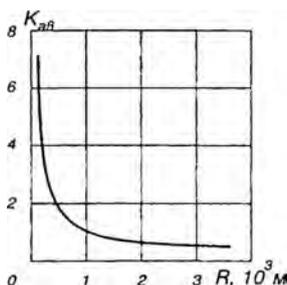


Рис.10. Зависимость аварийности от радиуса кривых в плане [3].

На рис. 9 показана зависимость аварийности от *продольного уклона*. Основными причинами аварий на спусках является съезд с земляного полотна из-за чрезмерной скорости, а на подъемах – столкновение со встречным автомобилем при обгоне. При движении на спуск аварий, примерно, в два раза больше, чем при движении на подъем. При совпадении продольных уклонов с поворотом аварийность значительно возрастает.

На рис.10 показана зависимость аварийности от *радиуса кривых в плане*. Видно, что при уменьшении радиуса до 150 м и менее аварийность резко возрастает. Радиус поворота дороги более 1500 м, практически, не влияет на аварийность. Заметим, что на поворотах совершается около 10...12% всех аварий, совершаемых на загородных дорогах. Заметим также, что если на 1 км встречается больше, чем одна кривая, то аварийность несколько снижается, т.к. водители более осторожны и подготовлены к появлению очередного поворота.

Зависимость аварийности от *расстояния видимости* показана на рис.11. Видно, что при увеличении расстояния видимости аварийность

снижается, стабилизируясь в районе расстояния 500...600 м. При видимости 100 м и менее, например, в тумане, аварийность резко возрастает и достигает внушительных величин.

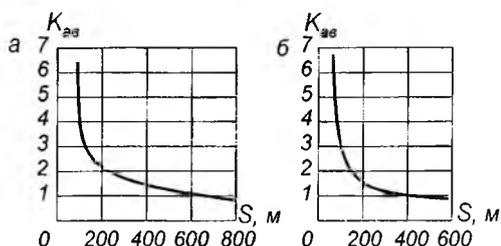


Рис.11. Зависимость аварийности от расстояния видимости [3]: а - в плане; б - в продольном профиле.

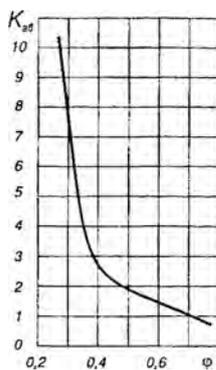


Рис.12. Зависимость аварийности от коэф. сцепления  $\phi$  [3].

Зависимость аварийности от коэффициента сцепления  $\phi$  показана на рис.12. Видно, что при значениях  $\phi < 0,4$  аварийность резко (до 10 раз при  $\phi < 0,25$ ) возрастает. Зависимость аварийности от ровности показана на рис.13. Видно, что вначале с ростом числа и высоты неровностей аварийность довольно резко возрастает. Однако, при дальнейшем возрастании неровности скорость движения вынужденно снижается и аварийность заметно падает.

Дороги с транзитным движением, проходящие через малые населенные пункты, разрезают их на части и нарушают установившиеся связи между ними. Близкое расположение зданий и сооружений, стоящие на обочине автомобили и повозки, неорганизованное движение нередко нетрезвых пешеходов, велосипедистов и местного транспорта, домашние животные и т.д., резко увеличивают аварийность – по многочисленным данным, от 2,5 до 10 раз. Особенно опасны начальные участки или очень короткие населенные пункты, где водители, в силу разных причин, еще не перестроились на уже изменившиеся (сильно ухудшившиеся) условия и продолжают

двигаться с повышенной скоростью и недостаточной внимательностью. По некоторым данным такое несоответствие скоростного режима условиям движения наблюдается на протяжении первых 500...600 м,, иногда – до 1 км.

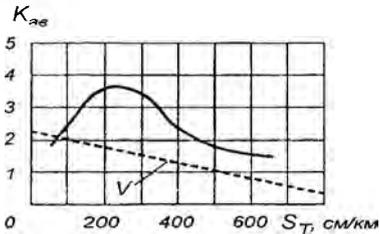


Рис. 13. Зависимость аварийности от ровности ПЧ [3]:  
 $S_T$  – суммарные показания толчкомера;  
 $V$  – скорость движения.

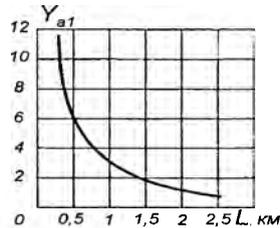


Рис. 14. Зависимость аварийности от протяженности населенного пункта [3]

На рис.14 показана зависимость аварийности от протяженности населенного пункта. Видно, что при малой протяженности – до 1 км – аварийность весьма высокая и с ростом протяженности населенного пункта она снижается, стабилизируясь где-то в районе протяженности 1,5...2 км.

Современные магистральные дороги стремятся делать в обход населенных пунктов. Однако там, где они уже проложены и нет обходов следует принимать очень серьезные меры – строительство тротуаров, внеуличных стоянок, подземных переходов, скотопроводов, ограждения, подъем земляного полотна, параллельные дороги для движения местного транспорта и т.д. Представляется, что очень часто значительно дешевле строить (небольшие) объездные дороги.

Известны и другие зависимости аварийности от дорожных условий, однако, думается, что читатель уже получил достаточно наглядное представление об основных зависимостях. Укажем лишь, что для снижения аварийности дорожники выполняют целый ряд мероприятий, которые постепенно становятся все более актуальными и нормативными, т.е. обязательными. Сюда относятся периодическое повышение коэффициента сцепления путем т.н. поверхностной обработки (нанесение и закрепление на поверхность слоя щебня),

повышение шероховатости бетонных покрытий путем нарезки поперечных полос, спрямление дорог на крутых поворотах и уклонах, установка тросовых или барьерных ограждений на насыпях, ограждение с помощью металлических сеток дорожного полотна в районе появления диких животных, уширение мостов, устройство безопасных (очень пологих) кюветов, позволяющих в случаях крайней необходимости съехать с земляного полотна без опрокидывания и многое другое. Особой заботы требуют дороги в зимнее время – очистка от снега, посыпка песком или песчано-соляной смесью, устройство заграждений для предотвращения заносов и т.д.

**Организация движения.** Влияние организации движения на аварийность трудно преувеличить. В принципе, вся деятельность по организации дорожного движения направлена на производство транспортной услуги при минимальных потерях, в том числе, и аварийных [52]. Кратко рассмотрим влияние на аварийность основных параметров транспортных потоков – скорости, интенсивности, загрузки полосы, - которые формируются, в том числе, и соответствующей организацией дорожного движения.

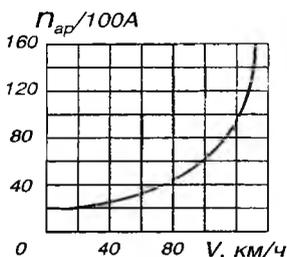


Рис.15. Зависимость тяжести Последствий аварий от СД на загородных магистралях США [1]:  
 $n_{ар}$  - число раненых.

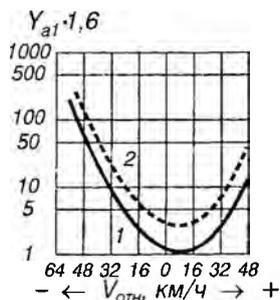


Рис.16. Зависимость аварийности от относительной СД [1]:  
 1 – днем; 2 – ночью.

Вначале рассмотрим влияние *скорости* на аварийность. На рис.15 показана зависимость *тяжести последствий аварий от скорости*. Видно, что с ростом скорости тяжесть последствий однозначно увеличивается, причем резкий рост начинается после скорости порядка 80 км/ч. Следовательно, скорость – враг и перед столкновениями, на-

ездами или иной коллизией скорость необходимо погасить любыми способами. На рис.16 показана зависимость аварийности от относительной скорости движения, т.е. от разности между скоростью данного автомобиля и средней скоростью потока. Видно, во-первых, что движение ночью, примерно, в 5 раз опаснее, чем днем, что элементарно объясняется ухудшением видимости, заметим, для всех участников, а не только для водителей. Во-вторых, и это главное, чем больше относительная скорость, тем выше вероятность аварии, и при  $V_{отн} \approx 30$  км/ч эта вероятность увеличивается уже в 10 раз и более. Причем, независимо от того, имеет ли она знак «+», когда Вы обгоняете весь поток, или знак «-», когда Вас обгоняет весь поток. Правда, хотя вероятность аварии справа и слева, примерно, одинакова, тяжесть последствий, как мы уже знаем, справа существенно выше.

На рис.17 показана зависимость аварийности от *средней скорости и условий движения*. Видно, что, даже, при очень высокой скорости (возьмем, например, точку 100 км/ч), но при очень хороших условиях – скоростная дорога – аварийность, приблизительно, в 20 раз меньше, чем при весьма незначительной средней скорости (возьмем, например, точку 30 км/ч), но при плохих условиях – стоянки, пешеходы, общественный транспорт, бесконечное маневрирование и т.д. Следовательно, вероятность возникновения аварии зависит не столько от самой скорости, сколько от ее соответствия условиям движения. Ясно, что в точке «30 км/ч», где условия очень плохие, многие едут намного быстрее, чем это необходимо и разброс скоростей несопоставимо больший, чем в точке «100 км/ч». Таким образом здесь скорость уже не враг, а вроде бы, как друг. Однако, особо обольщаться не следует потому, что тяжесть последствий одной аварии в точке «100» может оказаться сопоставимой или, даже, выше тяжести последствий 20 аварий в точке «30» (см. таб.9). Тем не менее, остается неоспоримым тот факт, что причиной аварии, как правило, является не сама по себе скорость, а ее несоответствие условиям движения. Как, впрочем, и тот факт, что очень хорошие условия, при которых возможны такие высокие скорости движения, являются у нас скорее исключением, чем правилом.

Суммируя, можно сказать, что с точки зрения аварийности (как, впрочем, и экономических и экологических потерь) скорость движения



Рис. 17. Зависимость аварийности от средней скорости движения (СД) и условий движения для городских магистралей США [1]:  
 1 - скоростные дороги; 2 - автомагистрали; 3 - периферийные районы города;  
 4 - центральная деловая часть города. Заштрихована зона 95% доверительной вероятности распределения аварийности; сплошная линия - среднее значение

должна быть и не малой, и не большой, а точно соответствовать условиям движения и иметь минимальное рассеивание (дисперсию). Именно это является основной задачей и водителей и организаторов дорожного движения, а основная задача государства заключается в создании хороших условий движения. К сожалению, условия движения ухудшаются явно недостаточно, водители стремятся повысить скорость там, где можно и там, где нельзя, а власти, наоборот, стараются ограничить скорость там, где нужно и там, где не нужно. В этом плане между водителями и организаторами движения идет настоящая война, приносящая потери всей нации.

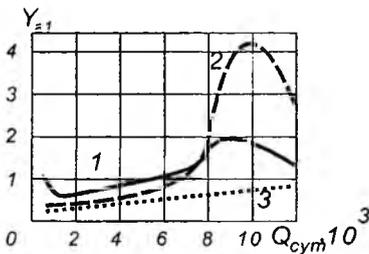


Рис. 18. Зависимость аварийности от интенсивности движения и типа дороги [3]:  
 1 - двухполосная; 2 - трехполосная;  
 3 - четырехполосная

Зависимость аварийности от *интенсивности движения* показана на рис.18. Видно, что на двухполосных дорогах при очень низкой интенсивности движения наблюдается некоторый всплеск аварийности, что объясняется невысоким качеством дорог, пониженной внимательностью участников, слабым контролем, возможными случаями нетрезвого состояния участников и т.д. Затем, по мере роста интенсивности движения, аварийность увеличивается и при достижении

некоторых значений – примерно 500 а/ч в каждом направлении – начинает снижаться, потому что обгоны становятся, практически, невозможными, а скорость заметно падает. На четырехполосных дорогах всплеск аварийности при малой интенсивности движения, естественно, не наблюдается, кривая зависимости, в принципе, аналогична, только сдвинута существенно вправо, за пределы нашего графика. На трехполосных дорогах аварийность до интенсивности движения порядка 500 а/ч в каждом направлении находится где-то между 2 и 4 полосными дорогами, что вполне естественно. Однако, затем она резко – до 3 раз – увеличивается, что связано с рискованным выполнением обгонов – единственную третью полосу не могут поделить между собой обгоняющие обоих направлений. При этом ни разметка, разрешающая поочередный обгон, ни контроль на дороге кардинальных и долгосрочных результатов, к сожалению, не приносит.

Зависимость аварийности от состава транспортного потока показана на рис.19. Видно, что чем больше доля грузовых автомобилей (чем «тяжелее» состав), тем большая вероятность аварий.

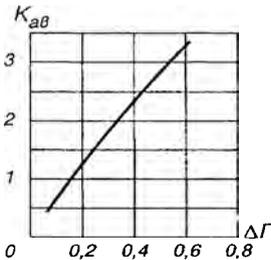


Рис. 19. Зависимость аварийности от состава транспортного потока [3]:  $\Delta G$  – доля грузовых автомобилей в потоке

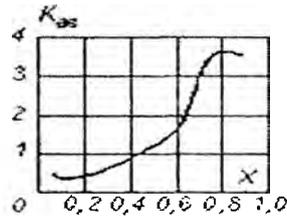


Рис. 20. Зависимость аварийности от коэффициента загрузки  $X$  [3,42]:  
а – результирующая;  
б – по видам аварий: 1 – столкновение; 2 – обгон; 3 – потеря управления

Аварийность в очень сильной степени зависит от т.н. *коэффициента загрузки полосы движением*, под которым понимают отношение фактической интенсивности движения к максимально возможной:  $x = Q_{\text{факт}} / Q_{\text{max}}$ . В качестве максимальной интенсивности движения принято считать  $Q_{\text{max}} \approx 1800$  а/ч – за городом и  $Q_{\text{max}} \approx 900$  а/ч – в городе. Снижение максимальной интенсивности в городе происходит

из-за светофорного регулирования, которое, примерно, половину времени отдает одному направлению и столько же – другому направлению.

При малых нагрузках маневры выполняются легко и безопасно. При больших нагрузках они настолько трудны и опасны, что их, практически, никто не выполняет, за исключением лишь крайне необходимых. Самое неприятное наступает в переходной период, когда маневры, казалось бы, *еще* выполнимы, но на самом деле для многих они *уже* невыполнимы. Такой период наступает, примерно, при коэффициенте загрузки  $x \approx 0,65 \dots 0,80$ . Конечно, в некоторых случаях, например, при хорошей координации движения, когда необходимость в большинстве маневров (торможения, разгоны, опережения, и т.д.) отпадают, такая нагрузка не страшна и, в принципе, приемлема. Но для некоординированных улиц и, особенно, для загородных дорог она очень опасна и неприемлема [18,50]. Здесь же заметим, что стоянки на проезжей части, отнимающие одну полосу движения, например из двух полос в данном направлении, очень часто «загоняют» коэффициент загрузки полосы  $x$ , именно, в этот интервал. Нетрудно подсчитать, что такое положение наступает при суммарной интенсивности движения по двухполосному направлению порядка 550...650 а/ч. На рис.20 показана зависимость аварийности от коэффициента загрузки полосы движением  $x$ .

Представляет интерес зависимость аварийности *одновременно от нескольких факторов*. На рис.21 показана зависимость аварийности от времени суток, которая включает интенсивность движения, видимость (светлое или темное время [27]), наличие пешеходов, степень усталости и т.д. Видно, что аварийность (линия А) в значительной мере коррелирует с интенсивностью движения (линия ИД), а максимум аварийности явно приходится на время вечернего пика, где совмещаются и интенсивность движения, и усталость, и спешка, и наступление сумерек (в зимнее время) и т.д.

На рис.22 показана зависимость аварийности от *времени года*. Видно, что пик аварийности приходится на август – октябрь, при этом наиболее тяжелые аварии приходятся на октябрь-ноябрь, когда многие еще продолжают ездить «по-летнему» хотя условия движения уже далеко не всегда «летние». Последние зависимости наглядно показывают, в какое время суток или года участникам следует проявлять повышенную осторожность, а властям – принимать усиленные меры по повышению безопасности.

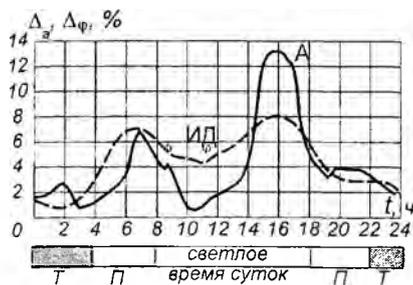


Рис. 2.1. Зависимость аварийности (А) от интенсивности движения (ИД) и времени суток [1]:

$\Delta_a$  – доля аварийности от среднесуточной;  
 $\Delta_f$  – доля ИД от среднесуточной;  
 Т – темное время; П – переходный период

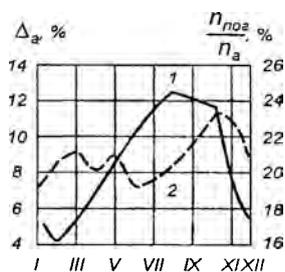


Рис. 2.2. Зависимость аварийности и тяжести последствий от времени года [6]: 1 - доля аварийности от среднегодовой; 2 - число погибших на 100 аварий.

## Аварийность на типовых объектах

Аварийность на типовых объектах имеет свои закономерности, которые связаны со множеством факторов, в первую очередь, с видимостью, однозначностью приоритета, логичностью решений, информацией, располагаемым временем для принятия решений и т.д. Разумеется, будет показана лишь малая часть известных закономерностей с очень короткими комментариями.

На рис.23 показан перекресток, расположенный в частном секторе с очень похожими и равноудаленными друг от друга домами. Даже, зная о его существовании, перекресток еще за 30...40 м, практически, не заметен. Заметим, что подвеска над центром перекрестка светофора с желтым мигающим сигналом элементарно решила эту проблему.

На рис.24 показано, как левоповоротные автомобили закрывают друг другу видимость. Конечно, они могли бы стать друг напротив друга, улучшив таким образом обзорность. Но в этом случае, если один автомобиль раньше совершит поворот, другой окажется на полосе встречного движения со всеми вытекающими последствиями. Думается, что в таких случаях, особенно, при значительной нагрузке, необходимость выделения левоповоротных полос очевидна.

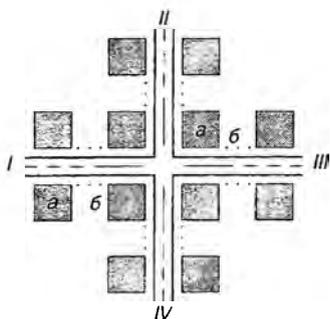


Рис. 23. Мало заметное пересечение улиц в районе индивидуальной застройки [9]: а – постройки; б – заборы

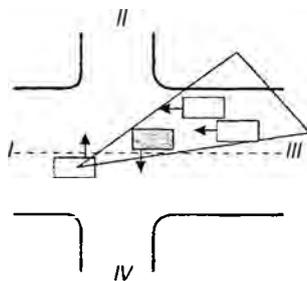


Рис. 24. Ухудшение видимости при левом повороте [9]: Левоповоротный автомобиль 34 закрыл левоповоротному автомобилю 12 значительную зону (заштриховано), в которой находятся два транзитных автомобиля 31

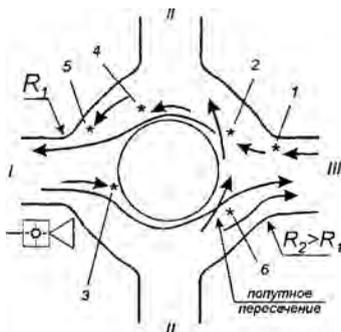


Рис. 25. Схема движения и очаги аварийности на кольцевом перекрестке с центральным островком малого и среднего диаметра [9]: 1...6 – очаги аварийности. Показано регулирование по типу “кольцо главное”

На рис.25 показаны основные очаги аварийности на кольцевых перекрестках с центральным островком малого и среднего диаметра, т.е. , как правило, городских. Видно, что очаги «3,4,5 и 6» спровоцированы водителями, движущимися по кольцу и съезжающими с него. В точках 4 и 6 эти водители, вопреки правилам (преимущество имеет тот, у кого нет помехи *справа*), но, подчиняясь здравому смыслу, придерживаются правила: «преимущество имеет тот, у кого

нет помехи слева». В точке 5 водители, съезжающие с кольца и используя только что упомянутое «правило», спрямляя траекторию и выигрывая таким способом в скорости, препятствуют водителю справа сделать бесконфликтный правый поворот. Особенно это опасно, когда радиус закругления  $R_1$  маленький и правый водитель вынужден остановиться в самый последний момент. Очаг 3 образован тем, что правый водитель, для увеличения радиуса и выигрыша в скорости действует уже по «писаным» правилам (нет помехи справа), прижимая левого водителя к островку и заставляя его уступить или остановиться. Как видим, здесь имеется целый букет недоработок, связанных с нормативами, практикой регулирования, поведением участников и надзором за движением, устранение которых позволило бы, практически, ликвидировать четыре очага из шести.

На рис.26 показаны типичные аварии на пешеходном переходе, расположенном на перегоне, а на рис.27 показаны типичные аварии в зоне остановочного пункта маршрутного пассажирского транспорта. Представляется, что эти схемы не требуют особых комментариев, разве что траектория движения пешеходов показана пунктиром.

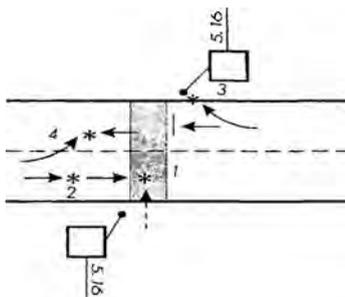


Рис. 26. Основные виды конфликтов на пешеходном переходе, расположенном на перегоне [9]:  
1 – наезд на пешехода; 2 – попутные столкновения; 3 – наезд на неподвижное препятствие, 4 – выезд на полосу встречного движения

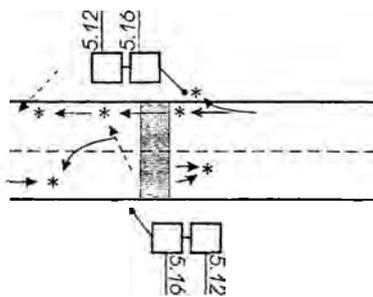


Рис. 27. Основные виды конфликтов в зоне остановочного пункта маршрутного пассажирского транспорта [9]

## 5.1. РАСЧЕТ АВАРИЙНЫХ ПОТЕРЬ

Суммарные годовые потери от аварий,  $\Pi_a$ , определяются по формуле:

$$\Pi_a = \sum_1^i n_{ai} \cdot C_{ai}, \text{ у.е./год,}$$

где  $n_{ai}$  – число аварий  $i$ -ой тяжести последствий. Определяется по статистической информации либо в результате прогнозирования аварийности.

$C_{ai}$  – стоимость одной аварии  $i$ -ой тяжести последствий, у.е./ав. При отсутствии иных данных стоимость  $C_{ai}$  можно принимать из табл. 12. При этом, необходимо отметить, что указанная в таблице стоимость аварии включает и экономическую, и социальную составляющие [49].

Таблица 12

**Временные расчетные значения  
полной экономической оценки аварий [10]**

Тяжесть последствий		Стоимость, $C_{ai}$ , у.е.
Смертельный исход		60 000
Ранение, повлекшее инвалидность		20 000
Ранение, тяжелое		1 200
Ранение, легкое		600
Материальный ущерб		300
Усредненные значения	Авария без указания тяжести последствий	2000
	Авария с пострадавшими	11 000
	Авария с ранением	1 200

## 5.2. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ АВАРИЙНОСТИ

Прогнозирование аварийности является неотъемлемой частью работ по определению качества возможных вариантов организации дорожного движения на заданном участке УДС. К сожалению, сегодняшние методы прогнозирования не дают однозначных ответов, они очень необъективны и приблизительны. Поэтому расчетчик

вправе пользоваться любым известным ему методом прогнозирования аварийности. В монографии детально рассмотрены три *метода* прогнозирования аварийности: статистический, потенциальной опасности и конфликтных ситуаций.

### 5.2.1. СТАТИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД

В табл. 13,14 приведены некоторые типовые мероприятия по организации дорожного движения и ожидаемое снижение аварийности,  $\Delta A$ .

Таблица 13

#### Статистическое прогнозирование аварийности по данным США и СССР [1,2]

№ п/п	Мероприятия	Город, загород	Число полос	$\Delta A$		
				Все аварии	с пострадавшими	с материальным ущербом
1	2	3	4	5	6	7
1	Запрещение стоянок	Г	>2	0,32	0,03	-
2	Разметка края ПЧ	3	2	0,14	0,17	-
3	Установка или корректировка расположения предупреждающих знаков	Г	2	0,14	0,14	-
			>2	0,20	0,26	-
		3	2	0,36	0,32	-
			>2	0,18	0,03	-
4	Выделение разделительной полосы разметкой или выполнение ее приподнятой	Г	>2	0,12	-	-
5	Укладка нового дорожного покрытия (с реконструкцией)	Г	>2	0,42	0,46	-
			3	2	0,12	0,21
		3	>2	0,44	0,59	-
6	Стабилизация обочин	3	2	0,38	0,46	-
7	Уширение обочин	3	2	-0,20	0,07	-
8	Уширение ПЧ	3	2	0,38	0,30	-
9	Нанесение разделительной линии разметки на выпуклых вертикальных правых	3	2	0,64	-	-

Продолжение табл. 13

1	2	3	4	5	6	7
10	Установка или обновление предупреждающих или указательных знаков на перекрестке	З	2	0,37	0,19	-
			>2	0,09	-0,07	-
		Г	2	0,20	0,51	-
			>2	0,41	0,47	0,26
11	Установка знака «Стоп»	З	2	0,47	0,96	-
12	Установка перед перекрестком на второстепенной дороге знака «Проезд без остановки запрещен»	Г	2	0,48	0,71	-
			>2	0,38	0,18	0,22
		З	2	0,65	0,89	-
13	Установка предупреждающих сигналов	Г	>2	-0,27	0,73	-
			>2	0,56	0,29	-
		З	2	0,13	0,56	-
14	Добавление пешеходных сигналов		>2	0,02	0,42	-
		Г	>2	0,40	0,39	-
15	Запрещение поворотов	Г	2	0,19	0,8	-
16	Выделение полосы для левых поворотов без светофорного регулирования		>2	0,06	0,54	0,18
		З	>2	-0,06	-0,01	-
		Г	>2	0,27	0,01	0,07
17	Организация полосы для левых поворотов со светофорным регулированием		>2	0,43	0,58	-
		З	>2	0,38	0,57	-
18	Установка дополнительной секции левого поворота без выделения отдельной полосы	Г	>2	0,38	0,57	-
19	Установка дополнительной секции левого поворота с выделением отдельной полосы	Г	>2	0,46	0,76	-
20	Организация светофорного регулирования	Г	>2	0,62	0,80	0,79
21	Установка светофора с ЖМС	Г,З	>2	0,77	0,85	0,70
22	Установка пешеходных ограждений св. 100 м.	Г,З	>2	0,87	0,61	0,64
23	Установка дорожных знаков	Г,З	>2	0,67	0,61	0,64
24	Строительство пешеходной дорожки	Г,З	2+	0,72	0,78	0,77
25	Устройство велодорожки	З	2+	0,80	0,84	0,93
26	Нанесение горизонтальной разметки	Г	2+	0,62	0,62	0,84
27	Строительство подземного пешеходного перехода	Г	4+	0,64	0,54	0,35
28	Устройство заездного кармана для МПТ	Г,З	2+	0,56	0,73	0,83
29	Введение одностороннего движения	Г	2+	0,11	0,06	0,01
30	Устройство светофора для пешеходов	Г	2+	0,50	0,74	0,93
31	Ограничение скорости движения	Г,З	2+	0,48	0,60	0,86

1	2	3	4	5	6	7
32	Введение координированного регулирования	Г	2+	-0,04	0,06	0,51
33	Освещение проезжей части	Г	2+	0,67	0,60	0,20
34	Реконструкция перекрестка в кольцевой	Г	2+	0,51	0,78	0,93
35	Устройство обозначенных пешеходных переходов	Г	2+	1,00	1,00	0,96
36	Устройство шероховатого дорожного покрытия	Г	>2	0,20	0,15	–
37	Устройство трясущих полос	З	2	0,27	0,26	0,24
38	Установка тросового ограждения на разделительной полосе магистрали	З,Г	>2	-0,33	-0,04	–
39	Установка барьерных ограждений на разделительной полосе магистрали	Г,З	>2	-0,20	-0,22	–
40	Установка заграждений вдоль дороги для домашнего скота	З	2+	0,90	–	–
41	Установка направляющих устройств на кривых в плане	З	2	0,02	0,16	–
			>2	0,52	0,10	–
42	Реконструкция кривых в плане	З	2	0,88	0,89	0,96
43	Строительство путепроводов	Г,З	2+	0,97	0,20	0,27
44	Установка транспортных ограждений на мостах	Г	2+	1,0	1,0	1,0
45	Реконструкция автодорог (расширение ПЧ и увеличение радиуса поворотов)	З	2	0,37	0,58	0,98

Таблица 14

**Статистическое прогнозирование аварийности  
по данным [32,38]**

№ п/п	Мероприятия	Снижение числа аварий в долях единицы, АА	
		Все аварии	Аварии с пострадавшими
1	2	3	4
1.1.	Кривые в плане		
1	Увеличение радиуса кривой в плане до нормативных значений	0,67	0,63

1	2	3	4
2	Устройство виражей с уширением проезжей части	0,36	0,27
3	Улучшение видимости на кривых в плане	0,22	0,65
4	Устройство островка, регулирующего движение	0,34	0,59
5	Установка ограждений на кривых в плане	0,16	0,32
6	Установка направляющих устройств: при числе полос движения - 2	0,14	0,16
	при числе полос движения более 2	0,52	0,10
7	Установка или обновление предупреждающих дорожных знаков: при числе полос движения - 2	0,44	0,55
	при числе полос движения более 2	0,52	0,40
8	Установка предупреждающих знаков и направляющих устройств	0,22	0,41
9	Устройство краевой и осевой разметки на кривых, установка знаков	0,52	0,25
1.2	Участки подъемов и спусков		
10	Устройство дополнительной полосы движения на подъем	0,45	0,25
11	Нанесение разделительной линии на выпуклых кривых в продольном профиле	0,55	0,62
12	Установка ограждений на спусках	0,12	0,16
1.3	Уширение проезжей части		
13	Уширение проезжей части (без учета величины уширения)	0,33	0,25
14	Уширение проезжей части с 5(6) до 7(8) м	0,30	0,22
15	Уширение проезжей части с 7 до 9 м	0,34	0,25
16	Уширение проезжей части с 7 до 11,25 м	0,44	0,28
1.4	Увеличение числа полос движения		
17	Увеличение числа полос движения с 2 до 3	0,06	0,08
18	Увеличение числа полос движения с 2 до 4	0,12	0,20
19	Увеличение числа полос движения с 4 до 6	0,25	0,32
1.5	Уширение, устройство обочин		
20	Доведение геометрических параметров и поперечного уклона обочин до нормативных требований	0,31	0,37
21	Уширение обочин на 2 м с доведением до нормативных требований	0,22	0,26
22	Уширение обочин на 1,5 м с доведением до нормативных требований	0,20	0,24

1	2	3	4
23	Уширение обочин на 1,0 м с доведением до нормативных требований	0,17	0,20
24	Уширение обочин без учета величины уширения	0,20	0,24
25	Устройство обочин шириной до 1,0 м	0,16	0,13
26	Устройство обочин шириной от 1,0 до 2,0 м	0,15	0,20
27	Устройство обочин шириной от 2,0 до 2,75 м	0,21	0,25
28	Устройство разделительной полосы	0,12	0,30
1.6	Пересечения и примыкания		
29	Канализирование движения:		
	- на пересечениях	0,50	0,30
	- на примыканиях	0,10	0,05
	- на пересечениях и примыканиях со светофорным регулированием	0,26	0,15
	- устройство островков безопасности разметкой для левоповоротных потоков	0,50	0,35
	- устройство островков безопасности барьерного типа для левоповоротных потоков	0,58	0,38
30	Устройство осевой и краевой разметки	0,20	0,27
31	Устройство переходно-скоростных полос	0,24	0,13
32	Установка дорожных знаков:		
	- предупреждающих	0,37	0,60
	- знак 2.5 на второстепенных дорогах перед выездом на главную дорогу	0,31	0,25
33	Сокращение количества примыканий	0,13	0,10
34	Устройство кольцевых пересечений	0,49	0,33
35	Введение светофорного регулирования:		
	- на пересечениях	0,52	0,40
	- на примыканиях	0,26	0,20
36	Уширение проезжей части	0,20	0,15
37	Устройство (укрепление) обочин в зоне пересечений (примыканий)	0,13	0,10
1.7	Железнодорожные переезды		
38	Установка дорожного знака 2.5	0,58	0,45
39	Установка ограждений	0,6	0,50
40	Установка автоматических шлагбаумов	0,84	0,70
1.8	Площадки отдыха		
41	Строительство площадок отдыха	0,24	0,21
42	Устройство переходно-скоростных полос в зоне площадок отдыха	0,42	0,45

1	2	3	4
1.9	Автобусные остановки		
43	Перенос автобусных остановок за пересечение (примыкание) с оборудованием заездным карманом, посадочной площадкой	0,20	0,26
44	Оборудование автобусных остановок заездными карманами, посадочными площадками	0,24	0,31
45	Оборудование автобусных остановок переходно-скоростными полосами, заездными карманами, посадочными площадками	0,34	0,44
1.10	Дорожные знаки		
46	Установка предупреждающих дорожных знаков	0,26	0,41
47	Установка знака "Ограничение скорости движения"	0,50	0,20
48	Изменение ограничений скорости движения:		
	с 70 до 50 км/ч	0,21	0,16
	с 70 до 60 км/ч	0,10	0,08
	с 80 до 50 км/ч	0,29	0,22
	с 80 до 60 км/ч	0,20	0,15
	с 80 до 70 км/ч	0,09	0,07
	со 100 до 70 км /ч	0,46	0,35
	со 100 до 80 км/ч	0,39	0,30
49	Установка дорожного знака 2.4	0,07	0,05
50	Установка дорожного знака 2.5	0,32	0,25
51	Установка информационных панно "аварийно-опасный участок"	0,20	0,15
1.11	Дорожная разметка		
52	Устройство осевой разметки	0,23	0,20
53	Устройство краевой разметки	0,15	0,17
54	Устройство осевой и краевой линий разметки	0,36	0,28
55	Восстановление разметки переходно-скоростных полос	0,34	0,26
56	Установка знаков, нанесение разметки	0,44	0,34
1.12	Дорожные ограждения, направляющие устройства		
57	Установка ограждений (независимо от типа)	0,19	0,25
58	Установка барьерных ограждений у осветительных опор и опор связи	0,17	0,22
59	Установка направляющих устройств	0,26	0,27

Продолжение табл. 14

1	2	3	4
1.13	Электрическое освещение		
60	Устройство электрического освещения	0,26	0,25
61	Устройство электрического освещения ав- топавильона	0,34	0,37
1.14	Участки дорог в пределах населенных пунктов		
62	Устройство электрического освещения	0,60	0,50
63	Уширение проезжей части с 7,5 до 9,0 м	0,36	0,34
64	Укрепление обочин на всю ширину	0,23	0,20
65	Устройство шероховатой поверхностной обработки	0,28	0,31
66	Устройство тротуаров, пешеходных дорожек	0,30	0,23
67	Обустройство наземного пешеходного пе- рехода знаками, разметкой	0,33	0,10
68	Устройство велодорожек	0,11	0,15
69	Строительство пешеходного перехода в разных уровнях	0,24	0,15
70	Светофорное регулирование пешеходного движения	0,21	0,10
71	Оборудование стояночных площадок	0,14	0,18
72	Ограничение скорости движения	0,16	0,20
73	Установка пешеходных ограждений	0,20	0,27
74	Устройство разметки типа "зебра" на пеше- ходных переходах	0,26	0,35
1.15	Мосты		
75	Установка барьерных ограждений на мостах	0,32	0,42
76	Устройство разметки на мостах	0,22	0,30
1.16	Покрытие проезжей части		
77	Устройство шероховатой поверхностной обработки	0,24	0,32
78	Повышение ровности дорожных покрытий (оценка ровности по толчкомеру) на каждые 50 см/км улучшения ровности	0,18	0,24
79	Повышение ровности покрытия (без учета степени улучшения ровности)		
1.17	Восстановление покрытия (укладка нового дорожного покрытия):		
80	при числе полос движения - 2	0,24	0,21
81	при числе полос движения более 2	0,44	0,59
82	Ямочный ремонт дорожного покрытия	0,17	0,22

Продолжение табл. 14

1	2	3	4
1.18	Укрепление, расчистка обочин		
83	Укрепление обочин на ширину 1,0 м	0,20	0,30
84	Укрепление обочин на всю ширину (при нормативной ширине обочин)	0,31	0,46
85	Укрепление обочин без учета ширины и типа укрепления	0,30	0,36
86	Ямочный ремонт обочин и их подсыпка	0,16	0,20
87	Удаление с обочин мачт электрического освещения	0,11	0,18
88	Удаление с обочин деревьев, столбов	0,18	0,28
1.19	Ямочный ремонт проезжей части, приведение состояния обочин в соответствие с нормативными требованиями, установка (ремонт) ограждений и знаков при числе полос движения:		
89	2	0,26	0,31
90	3	0,30	0,36
91	4 и более	0,32	0,38
1.20	То же, что в 1.19 с устройством поверхностной обработки и нанесением разметки при числе полос движения:		
92	2	0,29	0,35
93	3	0,32	0,39
94	4 и более	0,37	0,44
1.21	То же, что в 1.19 с устройством выравнивающего слоя покрытия при числе полос движения:		
95	2	0,32	0,40
96	3	0,36	0,42
97	4 и более	0,42	0,50
1.22	То же, что в 1.19 с укладкой нового дорожного покрытия при числе полос движения:		
98	2	0,34	0,41
99	3	0,39	0,50
100	4 и более	0,44	0,53
1.23	Уширение проезжей части (с устройством выравнивающего слоя, шероховатой поверхностной обработки, нанесением разметки, ремонтом и/или установкой ограждений и дорожных знаков, ремонтом и/или установкой автопавильонов, ремонтом площадок отдыха, пешеходных дорожек):		
101	с 5(6) м до 7,5 м	0,26	0,43
102	с 7,5 м до 9(10) м	0,55	0,60

1	2	3	4
103	с 7,0 м до 11,25 м	0,44	0,53
104	с 14,0 м до 17(18) м	0,58	0,64
1.24	Реконструкция и строительство дорог		
105	Смягчение продольных уклонов	0,27	0,34
106	Постройка второй проезжей части	0,30	0,40
107	Уширение мостов	0,37	0,30
108	Строительство пересечений в разных уровнях с автомобильными дорогами	0,96	0,40
109	Строительство пересечений в разных уровнях с железными дорогами	0,86	0,80
110	Строительство обходов населенных пунктов	0,80	0,25
1.25	Реконструкция участка дороги с улучшением трассы при числе полос движения:		
111	2	0,72	0,68
112	3	0,74	0,70
113	4	0,75	0,72

Примечание к табл. 14: протяженность зон влияния для отдельных элементов дороги составляет  $100 \pm 50$  м.

Прогнозируемое число аварий после внедрения мероприятия ( $P_{a2}$ ) определяется по формуле:

$$P_{a2} = n_{a1}(1 - \Delta A), \text{ ав/год,}$$

где  $n_{a1}$  – среднегодовое число аварий до введения мероприятия, ав/год (из статистики);

$\Delta A$  – снижение числа аварий в долях единицы, принимается из табл.13 и 14. **При этом, снижение  $\Delta A$  касается только тех аварий, которые непосредственно зависят от внедренного мероприятия.**

Если на каком-либо участке внедрены 2 (или более) мероприятия, то результирующий коэффициент  $\Delta A$  определяется по формуле:

$$\Delta A = 1 - (1 - \Delta A_1) \cdot (1 - \Delta A_2) \cdot \dots$$

В случае, если на исследуемом участке изменилась ИД, то допускается **линейная** корректировка прогнозируемого числа аварий  $n_{a2}$ . Также допускается, по усмотрению расчетчика, корректировка

числа  $n_{a2}$  при изменении СД, коэффициента загрузки полосы движением, условий движения и т.д. Однако, следует помнить, что любая корректировка может исказить и без того весьма неточный результат.

## 5.2.2. МЕТОД ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ОПАСНОСТИ

*Метод потенциальной опасности* делает прогноз по набору факторов, влияющих на аварийность, которые можно либо измерить на реальном объекте, либо задать на проектируемом объекте. Это дает возможность оптимизировать по критерию безопасности организацию движения на существующем объекте, либо принимаемые решения по организации движения на стадии разработки или проектирования [9,19,37].

*Потенциальная опасность* – это невидимая, скрытая опасность, которая является некой сложной, закодированной функцией многих факторов и множества их комбинаций – скорость, интенсивность, регулирование, условия и т.д. Разработаны методики прогнозирования аварийности по методу потенциальной опасности, которые уже дают количественный прогноз [28]. Ниже, в кратком изложении будет приведена методика прогнозирования аварийности в конфликте транспорт-транспорт на регулируемом перекрестке неординированных улиц.

### 5.2.2.1. Исходные данные для расчета потенциальной опасности

Для расчета потенциальной опасности требуются исходные данные, характеризующие *геометрические параметры перекрестка* (ширина полос движения, расстояние от стоп-линии до конфликтной точки, радиусы закругления кромок проезжих частей дороги, продольные уклоны проезжей части и т.д.), *транспортную нагрузку* (интенсивность и скорость движения, состав транспортного потока), *режимы работы светофорного объекта* (диаграмма регулирования, длительность светофорного цикла, зеленого сигнала, желтого сигнала, переходного интервала [26,35,36]) и *условия движения транспортных потоков* (видимость конфликтной точки в направлении движения, боковая видимость, угол взаимодействия конфликтующих транспортных потоков, величина коэффициента сцепления и др.).

Для выполнения расчетов необходим масштабный план, из которого можно извлечь исходную информацию о геометрических и некоторых других характеристиках исследуемого объекта. Наиболее подходящим для этих целей является, как правило, план объекта в масштабе 1:500.

Определение адреса (имени) конфликтной точки производится с учетом числа полос и направлений движения. Например:  $1\_2\_3$  – первый вход вторая полоса на третий выход;  $4\_2\_1$  – четвертый вход вторая полоса на первый выход.

Радиус закругления кромки проезжей части и радиус траектории поворотного движения транспортных средств может определяться либо согласно специальной методике, либо из масштабной схемы перекрестка.

Угол взаимодействия транспортных средств второстепенного и главного потоков в конфликтной точке (между продольной осью второстепенного потока и касательной к траектории движения главного потока в конфликтной точке) также определялся либо по проектной документации, либо экспериментально.

Интенсивность движения определяется для каждой полосы движения. Проводятся экспериментальные измерения для нерегулируемого и регулируемого режимов. В качестве расчетного для регулируемого режима движения принимают светлый период рабочего дня недели, примерно, с 08 до 19 часов местного времени. В этот период желательно проведение 6–7 замеров, примерно, через 2 часа. Продолжительность одного замера – 10 светофорных циклов. В качестве расчетного периода для нерегулируемого режима принимают время, примерно равное 2 часам до начала и 2 часам после окончания работы светофорного объекта в режиме регулирования. В качестве расчетных значений интенсивности движения для конфликтующих потоков рекомендуется принимать 60% доверительную вероятность распределения интенсивности движения:

$$q = \bar{q}(1 + 0,25 \cdot \sigma_q), \text{ а/с},$$

где  $\bar{q}$  – математическое ожидание распределения интенсивности движения, а/с;

$\sigma_q$  – среднее квадратическое отклонение распределения интенсивности движения, а/с.

Состав транспортного потока определяется динамическим коэффициентом приведения  $K_{ин}$ . В качестве расчетных значений коэффициента  $K_{ин}$  рекомендуется принимать средневзвешенные значения по результатам измерений интенсивности движения за расчетный период.

Поток насыщения определяется либо экспериментально (п. 2.3.3), либо расчетным путем (п. 3.1.2.1.1). Коэффициент сцепления  $\varphi$  определяется либо путем сопоставления состояния реального покрытия с данными табл. 3, либо по методике [9,29].

Высота микронеровностей на проезжей части  $h$  определяется по наблюдениям или (в первый раз) элементарным измерением с помощью обычной линейки или штангенциркуля.

Если произведено несколько измерений скорости движения, например, утром, днем и вечером, то в качестве исходных значений можно принимать средневзвешенное по результатам этих замеров. В качестве расчетного значения скорости движения конфликтующих транспортных потоков принимают:

$$v = \bar{v}(1 + 0,25 \cdot \sigma_v), \text{ м/с,}$$

где  $\bar{v}$  – математическое ожидание распределения скорости движения, м/с;

$\sigma_v$  – среднее квадратическое отклонение распределения скорости движения, м/с.

В случае поворотных транспортных потоков, когда скорости зависят от радиуса поворота траектории движения конфликтующих участников, они определяются по формуле:

$$v_{пов} \approx 0,3R, \text{ м/с,}$$

где  $v_{пов}$  – скорость поворотного транспортного потока, м/с;

$R$  – радиус поворота траектории движения транспортного потока, м.

Скорости второстепенных потоков на существующих объектах определяют путем измерений. При разработке вариантов можно принимать:

$$v_2 = 0,33 * S_{\delta 2} \leq 11 \text{ м/с} ;$$

где  $S_{\delta 2}$  – второстепенная сторона треугольника боковой видимости, м.

$v_2$  – скорость движения второстепенного ТП, м/с.

Боковая видимость оценивается по величине треугольника боковой видимости (см. рис.28) и по степени прозрачности этого треугольника[9,28].

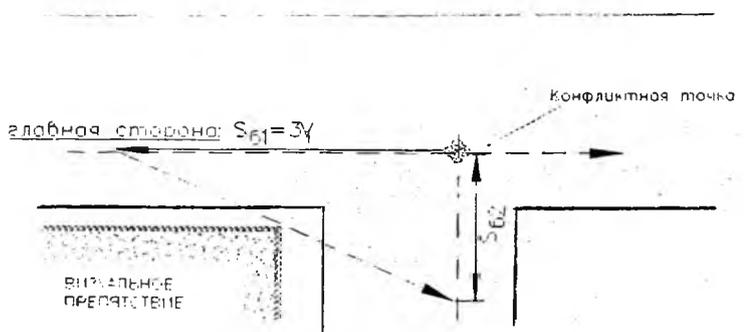


Рис. 28. Схема определения боковой видимости [9]

Степень прозрачности (видимость в пределах треугольника боковой видимости) оценивается субъективно исследователем либо по табл. 15 либо по методике [9].

Таблица 15

### Коэффициенты прозрачности (видимости) [9]

Характеристика помех в треугольнике боковой видимости	Видимость	Значение $K_{y14}$
1	2	3
практически отсутствуют	Отличная	1,0
имеются отдельные помехи, например: стойки дорожных знаков, опоры линии электропередач, отдельные нетолстые деревья	Хорошая	1,2
значительные помехи, включая отдельные припаркованные автомобили	Удовлетворительная	1,5

1	2	3
очень сильные помехи, в том числе, деревья, припаркованные грузовые автомобили и автобусы, с трудом или перерывами различается главный конфликтующий участник	Неудовлетворительная	до 2,5

Величина продольного уклона (подъем, спуск) на подходе к перекрестку определяется либо из проектной документации, либо по методике [9]. Видимость проезжей части в направлении движения определяется согласно [9].

Определяются следующие параметры световорного цикла – длительность цикла ( $C$ ), зеленого ( $t_z$ ), желтого ( $t_{ж}$ ), красного ( $t_k$ ), зеленого мигающего ( $t_{zm}$ ) сигналов, переходные интервалы ( $t_{np}$ ) – для каждой конфликтной точки каждого режима движения они определяются из паспортных данных или экспериментальным путем (см. рис. 29).

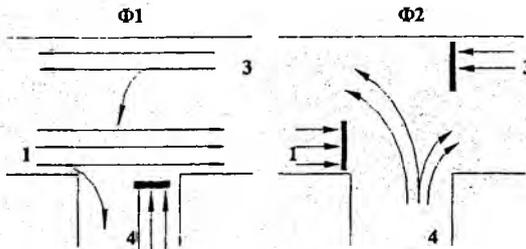
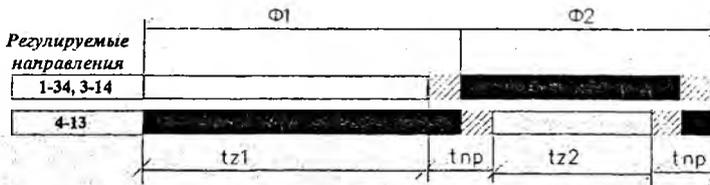


Рис. 29. Диаграмма светофорного регулирования

По результатам замеров интенсивности движения оценивается суточная продолжительность расчетного периода и, соответственно,

величина годового фонда времени. Если объект нагружен и в выходные дни, то в эти дни также следует провести замеры, которые позволят оценить количество расчетных дней в году. В любом случае, при сопоставлении вариантов решений следует пользоваться одинаковой величиной годового фонда времени (п.2.3.8). При отсутствии иных данных можно пользоваться табл. 16.

Таблица 16

**Ориентировочные значения годового фонда  
времени  $\Phi_2$  [19]**

Уровень нагрузки	Суммарная интенсивность движения конфликтующих потоков, а/ч	Годовой фонд времени для режимов	
		Перекресток регулируемый	Перекресток нерегулируемый
		$\Phi_{гр}$ , час/год	$\Phi_{гн}$ , час/год
Слабый	менее 1000x500	2500	2100
Средний	более 1000x500	3600	1800
Сильный	более 2000x1000	4400	—

Определение конфликтных зон можно производить графически на масштабном плане объекта либо с помощью компьютерной программы, которая также позволяет объединить конфликтные точки перекрестка в конфликтные зоны для различных режимов движения и визуализировать полученный результат. Для этого на масштабную схему наносятся границы конфликтных точек. Через точку пересечения траекторий движения транспортных средств проводится круг с радиусом:

$$r_a \approx 2,65 \cdot K_{nn}, \text{ м.}$$

Границы конфликтной точки слияния определяются размерами расчетного автомобиля, касающегося серединой передней части конфликтной точки и занимающего пространственный сектор  $60^\circ$ . Пересечение границ конфликтных точек свидетельствует о том, что конфликтные точки принадлежат одной конфликтной зоне.

Остальные исходные данные определяются, как правило, либо из масштабного плана, либо путем расчетно–экспериментальных исследований.

**Коэффициент загрузки полосы движением** – отношение расчетной интенсивности движения к максимально возможной в данных условиях. Для нерегулируемого режима он рассчитывается по формуле:

$$x_{нер} = \frac{Q}{Q_{max}},$$

где  $Q$  – интенсивность движения, а/ч;

$Q_{max}$  – максимальная интенсивность движения, а/ч. При этом для главного транспортного потока:

$$Q_{max1} = \frac{1800}{K_{ин1} M};$$

для второстепенного транспортного потока определяется:

$$Q_{max2} \approx 1250 - Q_1 * K_{ин1}.$$

Коэффициент загрузки полосы движением для режима регулирования рассчитывается по п. 3.1.2.1.1.

### **5.2.2.2. Методика прогнозирования аварийности в конфликте транспорт–транспорт на регулируемом перекрестке**

При прогнозировании аварийности на регулируемом перекрестке рассматриваются три режима движения[9,19]:

1. – *нерегулируемый*, когда интенсивность движения падает ниже предельных значений и объект переводится в режим желтого мигания;

2. – *внутрифазный*, когда рассматривается конфликтное движение двух идущих на зеленый сигнал потоков, например, левоповоротного и транзитного встречного, либо правоповоротного по зеленому сигналу

дополнительной секции и транзитного попутного, либо конфликтное движение на одном выходе правоповоротного и левоповоротного потоков;

3 – *межфазный*, который имеет место при смене фаз светофорного цикла, когда транспортные средства предыдущего направления еще не ушли из «конфликтной точки», а транспортные средства последующего направления уже пришли в эту точку.

Вероятное приведенное число аварий на перекрестке определяется суммой аварий в конфликтных зонах этого перекрестка, рассчитываемых для трех исследуемых режимов:

$$P_{ai} = \sum_{k=1}^j (P'_{ai})_k \text{ пр. ав/г.}$$

$$P'_{ан} = 0,34843P_{озн}^* - 0,08685. - \text{ для нерегулируемого режима;}$$

$$P'_{ав} = 0,33423P_{озв}^* + 0,3391. - \text{ для внутрифазного режима;}$$

$$P'_{ам} = 1,4656P_{озм}^*. - \text{ для межфазного режима.}$$

где  $P_{аз}$  – вероятное число аварий в данной конфликтной зоне в данном режиме, ав/г.

$P_{оз}^*$  – расчетное значение потенциальной опасности в исследуемой конфликтной зоне в данном режиме движения, усл. ед. потенц. опасн.;

$i$  – число режимов конфликтного движения ( $i=3$ );

$j$  – число конфликтных зон в данном режиме движения.

Вероятное число аварий со смертельным исходом для различных режимов конфликтного движения соответственно:

$$P_{ан}^c = P'_{ан} \cdot \Delta_{сн}; \quad P_{ав}^c = P'_{ав} \cdot \Delta_{св}; \quad P_{ам}^c = P'_{ам} \cdot \Delta_{см}, \text{ ав/год,}$$

где  $\Delta_{сн}$ ;  $\Delta_{св}$ ;  $\Delta_{см}$  – доля аварий со смертельным исходом для нерегулируемого, внутрифазного и межфазного режимов движения соответственно (см. табл. 17).

Вероятное число аварий с ранением для различных режимов конфликтного движения соответственно:

$$P_{ан}^P = P'_{ан} \cdot \Delta_{рн}; \quad P_{ав}^P = P'_{ав} \cdot \Delta_{рв}; \quad P_{ам}^P = P'_{ам} \cdot \Delta_{рм}, \text{ ав/год,}$$

где  $\Delta_{рн}$ ;  $\Delta_{рв}$ ;  $\Delta_{рм}$  – доля аварий с ранением для нерегулируемого, внутрфазного и межфазного режимов движения соответственно (см. табл. 17).

Вероятное число аварий с материальным ущербом для различных режимов конфликтного движения соответственно:

$$P_{ан}^{Му} = P'_{ан} \cdot \Delta_{мун}; \quad P_{ав}^{Му} = P'_{ав} \cdot \Delta_{мув}; \quad P_{ам}^{Му} = P'_{ам} \cdot \Delta_{мум}, \text{ ав/год,}$$

где  $\Delta_{мун}$ ;  $\Delta_{мув}$ ;  $\Delta_{мум}$  – доля аварий с материальным ущербом для нерегулируемого, внутрфазного и межфазного режимов движения соответственно (см. табл. 17).

Таблица 17

**Доля аварий различной тяжести последствий в конфликте «транспорт–транспорт» на регулируемых перекрестках**

Доля аварий	Нерегулируемый режим	Внутрфазный режим	Межфазный режим
со смертельным исходом, $\Delta_c$	0,0022	0,0015	0,006
с ранениями, $\Delta_p$	0,1380	0,0200	0,343
с материальным ущербом, $\Delta_{му}$	0,8598	0,9785	0,651

### 5.2.2.2.1. Определение потенциальной опасности нерегулируемого режима движения

Потенциальная опасность *конфликтной точки* нерегулируемого перекрестка или при работе регулируемого перекрестка в нерегулируемом режиме определяется по формуле:

$$P_O = P_{Он}^{0,9} \cdot K_v^{0,98} \cdot K_{\theta}^{1,12} \cdot K_{\rho}^{0,92} \cdot K_n^{1,02} \cdot K_y^{1,2} \cdot K_t^{1,0},$$

где  $P_{Он}$  – начальная вероятность конфликта, характеризует вероятность одновременного появления двух конфликтующих участников в зоне конфликта (которая ограничена эллипсом, полуоси которого равны расстоянию, преодолеваемому конфликтующими участниками за 1 с);

$K_{\theta}$  – коэффициент вида конфликта, характеризует габаритные особенности, которые присущи данным конфликтующим участникам:

$$K_{\theta} = K_{\theta 1} \cdot K_{\theta 2},$$

$K_{\theta 1}$  – коэффициент габаритов, характеризующий продолжительность нахождения конфликтующих участников в конфликтной точке;

$K_{\theta 2}$  – коэффициент уклончивых действий, характеризующий способность конфликтующих участников избежать конфликта путем принятия уклончивых действий;

$K_n$  – коэффициент нарушений, характеризует вероятность возникновения конфликтной ситуации и перерастания ее в коллизию при грубых нарушениях Правил дорожного движения;

$K_v$  – коэффициент скоростей, характеризующий влияние скоростей движения конфликтующих участников на вероятность возникновения конфликтной ситуации и перерастания ее в коллизию;

$K_{\rho}$  – коэффициент плотности, характеризующий влияние интенсивности и плотности транспортного потока на вероятность возникновения конфликтной ситуации и перерастания ее в коллизию;

$K_y$  – коэффициент условий, в которых происходит конфликтное движение. Рассчитывается как произведение частных коэффициентов условий:

$$K_y = K_{y1} \cdot K_{y2} \cdot K_{y3},$$

где  $K_{y1}$  – коэффициент видимости;

$K_{y2}$  – коэффициент проезжей части;

$K_{y3}$  – коэффициент пешеходов;

$K_t$  – коэффициент времени, характеризующий продолжительность работы перекрестка в данном режиме движения.

Рассмотрим более подробно порядок определения коэффициентов, входящих в структурную формулу определения потенциальной опасности конфликтной точки.

**Начальная вероятность конфликта ( $P_{он}$ )**, исходя из допущения, что зона конфликта условно ограничена временным интервалом, равным одной секунде, определяется по формуле:

$$P_{он} = q_1 \cdot q_2,$$

где  $q_1$  – интенсивность движения главного конфликтующего потока, а/с;

$q_2$  – интенсивность движения второстепенного конфликтующего потока, а/с.

Коэффициент габаритов (траектории) ( $K_{\text{г1}}$ ) рассчитывается по формуле:

$$K_{\text{г1}} = \frac{l_1 + b_2}{v_1} + \frac{l_2 + b_1}{v_2},$$

где  $l_1$  и  $l_2$  – длина главного и второстепенного конфликтных участников, м;

Принято допущение, что средняя длина конфликтующего участника:

$$l \approx 5 \cdot K_{\text{нн}}.$$

$b_1$  и  $b_2$  – ширина главного и второстепенного конфликтующих участников, м;  $b \approx 1,8 \sqrt{K_{\text{нн}}}$

$v_1$  и  $v_2$  – скорости движения конфликтующих участников, м/с.

В случае, если между траекториями движения конфликтующих участников имеется угол от  $10^0$  до  $175^0$  с учетом скоростей движения главного и второстепенного конфликтующих участников, коэффициент габаритов (траектории), определяется по формуле:

$$K_{\text{г1}} = \frac{V_2(l_1 \cdot \sin \alpha + b_1 \cdot \cos \alpha + b_2) + V_1(l_2 \cdot \sin \alpha + b_2 \cos \alpha + b_1)}{\sin \alpha \cdot V_1 \cdot V_2},$$

где  $\alpha$  – угол между траекториями движения конфликтующих участников, град. При встречных столкновениях, когда  $\alpha \rightarrow 180^0$ , коэффициент  $K_{\text{г1}}$  определяется по формуле:

$$K_{\text{г1}} = \frac{b_1 + b_2}{B} = \frac{1,6(\sqrt{K_{\text{нн1}}} + \sqrt{K_{\text{нн2}}})}{B},$$

где  $B$  – ширина полосы движения, м.

**Коэффициент уклончивых действий** ( $K_{в2}$ ) определяется по формуле:

$$K_{в2} = \frac{1}{VI_1 + VI_2},$$

где  $VI_1$  и  $VI_2$  – условная видимость конфликта конфликтующими участниками (см. табл. 10,  $K_{в2}$ ).

**Коэффициент нарушений** ( $K_H$ ) рассчитывается по формуле:

$$K_H = 0,05 \cdot (V_1^2 \cdot X_1 \cdot q_1 \cdot K_{вн1} + V_2^2 \cdot X_2 \cdot q_2 \cdot K_{вн2}) \cdot K_{ин} + 1,$$

где  $x_1, x_2$  – коэффициенты загрузки полосы движением;

$v_1, v_2$  – скорости конфликтующих участников, м/с;

$K_{вн1}, K_{вн2}$  – коэффициенты влияния конфликтующих потоков на вероятность возникновения конфликта. Принято:

$$K_{вн1} = 0,1 \text{ и } K_{вн2} = 1,0.$$

$K_{ин}$  – коэффициент присутствия инспектора (см. табл. 18).

Таблица 18

**Коэффициенты присутствия инспектора [9]**

Присутствие инспектора	Значение $K_{ин}$
Постоянное	0,75
Периодическое	1,00
Эпизодическое	1,25
Гарантированное отсутствие	1,50

При разработке вариантов можно принимать:

$$v_1 = v_p,$$

где  $v_p$  – разрешенная скорость движения конфликтующего участника на данном участке УДС, м/с.

$$v_2 = 0,33 \cdot S_{\beta 2} \leq 11, \text{ м/с},$$

где  $S_{\beta 2}$  – второстепенная сторона треугольника боковой видимости, м.

В случае поворотных транспортных потоков, когда скорости  $v_1$  и  $v_2$  зависят от радиуса поворота траектории движения конфликтующих участников, они определяются по формуле:

$$v_{пов} \approx 0,3 \cdot R, \text{ м/с},$$

где  $R$  – радиус поворота траектории движения транспортного потока, м.

Ограничения:  $v_{пов} \leq v_p$  и  $v_{пов} \leq v_2$ .

**Коэффициент скоростей ( $K_v$ )** рассчитывается по формуле:

$$K_v = (v_1 + v_2) \cdot v_{отн} = (v_1 + v_2) \cdot \sqrt{v_1^2 + v_2^2 - 2 \cdot v_1 \cdot v_2 \cdot \cos \alpha},$$

где  $\alpha$  – угол между траекториями движения конфликтующих участников, град,  $5^0 \leq \alpha \leq 175^0$ .

**Коэффициент плотности ( $K_p$ )** определяется по формуле:

$$K_p = 0,8 \frac{q_2 - 0,03}{0,03} \cdot \sqrt{\frac{K_{nn1} \cdot q_1 + K_{nn2} \cdot q_2}{q_1 + q_2}}.$$

**Коэффициент видимости ( $K_{yl}$ )** состоит из произведения частных коэффициентов, которые ранжированы и рассчитываются по формуле:

$$K_{y1} = K_{y11} \cdot K'_{y12} \cdot K'_{y13} \dots \cdot K'_{y1i},$$

где  $K_{y11}$  – первый по рангу частный коэффициент;

$K'_{y1i}$  – расчетный коэффициент  $i$ -го ранга:

$$K'_{y1i} = \left(1 + \frac{K_{y1i-1}}{K'_{y1\Sigma(i-1)}}\right)^m,$$

где  $K_{y1i}$  – частный коэффициент  $i$ -го ранга;

$K'_{y1\Sigma(i-1)}$  – суммарный частный коэффициент высшего на единицу ранга;

$m$  – показатель степени (принято:  $m=1$ ).

$K_{y11}$  – коэффициент, учитывающий видимость главного потока в направлении движения:

$$K_{y11} = \frac{0,6 \cdot v_p}{\sqrt{S_1}} \geq 1,$$

где  $S_1$  – фактическое расстояние видимости, м.

$K_{y12}$  – коэффициент, учитывающий видимость второстепенного потока в направлении движения, т.е. различимость пересечения с главным конфликтующим транспортным потоком. Рассчитывается по формуле:

$$K_{y12} = \frac{0,5 \cdot v_p}{\sqrt{S_2}} \geq 1,$$

где  $S_2$  – фактическое расстояние видимости, м.

$K_{y13}$  – коэффициент, учитывающий боковую видимость со второстепенного входа. Рассчитывается по формуле:

$$K_{y13} = \frac{1}{4} \cdot \left( \frac{3 \cdot v_p}{S_{б1}} + \frac{2,1 \cdot v_p}{S_{б2}} \right)^2,$$

$K_{y14}$  – коэффициент прозрачности (учитывающий видимость в пределах треугольника боковой видимости). С использованием балльной системы, принята классификация видимости (табл.5), в зависимости от которой, назначается данный коэффициент.

$K_{y15}$  – коэффициент одновременности конфликта, рассчитывается по формуле:

$$K_{y15} = \left( \frac{q_{11} + q_{12} + q_{13} + \dots + q_{1n}}{q_{11}} \right) \leq n,$$

где  $q_{11}$  – интенсивность движения главного конфликтующего транспортного потока, образующую исследуемую конфликтную точку;

$q_{12}, q_{1n}$  – интенсивность движения других конфликтующих транспортных потоков, присутствующих в исследуемой конфликтной зоне;

$n$  – число конфликтующих транспортных потоков, присутствующих в исследуемой конфликтной зоне.

$K_{y16}$  – коэффициент нелогичности решений имеет максимальное значение 2,5 и назначается расчетчиком с учетом анализа ситуации. Нелогичность и неожиданность решения для водителя часто связаны с неверным назначением приоритета; неприемлемым выбором места для парковки транспортного средства и т.п.

$K_{y17}$  – коэффициент иллюзионных ситуаций имеет рекомендованное максимальное значение 5 и назначается с учетом вероятности возникновения у водителя неверного представления о дорожно-транспортной ситуации из-за ложной перспективы (например: на повороте дороги), наложения световой рекламы на сигналы светофора и т.д.

$K_{y18}$  – коэффициент видимости средств регулирования, имеет рекомендованное максимальное значение 2,5 и зависит от качества установки технических средств регулирования: очень высоко или

низко установлены дорожные знаки и светофор, или они закрыты ветвями близко стоящих деревьев, закрыты крупногабаритными транспортными средствами, движущимися по крайним полосам; взаимное наложение видимости технических средств регулирования, и т.п.

**Коэффициент проезжей части ( $K_{y2}$ )** определяется по формуле:

$$K_{y2} = K_{y21} \cdot K'_{y22} \cdot K'_{y23} \dots \cdot K'_{y2i},$$

где  $K_{y21}$  – первый по рангу частный коэффициент;

$K'_{y2i}$  – расчетный коэффициент  $i$ -го ранга. Рассчитывается

аналогично коэффициенту  $K'_{y1i}$ .

$K_{y21}$  – коэффициент, учитывающий скользкость покрытия, определяется по формуле:

$$K_{y21} = K_{н\phi} \cdot \frac{0,5}{\phi} \geq 1,$$

где  $K_{н\phi}$  – коэффициент неравномерности, характеризует равномерность скользкости покрытия на исследуемом участке УДС:

$K_{н\phi} = 1$  – скользкость одинакова на всем протяжении участка;

$1 < K_{н\phi} \leq 1,5$  – скользкость на участке неравномерная, с резкими перепадами;

$\phi$  – коэффициент сцепления (см. табл. 3).

$K_{y22}$  – коэффициент, учитывающий ровность покрытия, на-

значается следующим образом:  $K_{y22} = 1$  – покрытие ровное и его состояние не отвлекает водителя от управления транспортным средством;  $1 < K_{y22} \leq 1,5$  – покрытие неровное, отвлекающее водителя от управления транспортным средством.

$K_{y23}$  – коэффициент, учитывающий наличие продольного уклона (спуска) перед конфликтной зоной, рассчитывается по формуле:

$$K_{y23} = 1 + \frac{\alpha^0}{3} \leq 3,$$

где  $\alpha^0$  – продольный уклон (спуск), перед конфликтной зоной, град.

$K_{y24}$  – коэффициент, учитывающий наличие сужения проезжей части, рассчитывается по формуле:

$$K_{y24} = \left(1 + \frac{3,5 - B}{B}\right)^2 \geq 1,$$

где  $B$  – ширина полосы движения на подходе к конфликтной точке (зоне), м.

$K_{y25}$  – коэффициент, учитывающий влияние неправильного поперечного профиля (отсутствие выража или обратный вираж, наличие продольных выступов и углублений и т.д.), находится в пределах  $1 < K_{y25} \leq 1,5$ .

**Коэффициент пешеходов ( $K_{y3}$ )**, как правило, используется при прогнозировании аварийности по конфликту «транспорт–пешеход», определяется по формуле:

$$K_{y3} = K_{y31} \cdot K'_{y32} \cdot K'_{y33} \dots \cdot K'_{y3i},$$

где  $K_{y31}$  – первый по рангу частный коэффициент;

$K'_{y3i}$  – расчетный коэффициент  $i$ -го ранга. Рассчитывается

аналогично коэффициенту  $K'_{y1i}$ .

Может опосредованно учитываться только в том случае, если пешеходы непосредственно влияют на конфликт «транспорт–транспорт».

$K_{y31}$  – коэффициент боковой видимости определяется по формуле:

$$K_{y31} = \frac{1}{4} \cdot \left( \frac{3 \cdot v_p}{S_{\delta 1}} + \frac{8}{S_{\delta 2}} \right)^2 \geq 1,$$

где  $S_{\delta 1}$  – транспортная сторона треугольника боковой видимости, м;  
 $S_{\delta 2}$  – пешеходная сторона треугольника боковой видимости, м;  
 $S_{\delta 2} \leq 8$  м.

$K_{y32}$  – коэффициент прозрачности (учитывающий видимость в пределах треугольника боковой видимости). Определяется аналогично коэффициенту  $K_{y14}$ .

$K_{y33}$  – коэффициент расположения переходов относительно пунктов тяготения (школ, магазинов, кинотеатров, проходных предприятий и т.д.). Когда они располагаются напротив школ, дверей магазинов, выходов из кинотеатров и т.д., где пешеходы из специфической среды обитания сразу же оказываются на пешеходном переходе, опасность увеличивается. Принято максимальное значение  $K_{y33} \leq 5$ .

$K_{y34}$  – коэффициент, учитывающий расположение остановочного пункта маршрутного пассажирского транспорта.  $K_{y34} \leq 1,5$  – остановочный пункт расположен перед пешеходным переходом с одной стороны улицы;  $K_{y34} \leq 2,0$  – остановочные пункты расположены перед пешеходным переходом сразу с обеих сторон улицы.

$K_{y35}$  – коэффициент ограждений, которые установлены на улично-дорожной сети с целью снизить аварийность по конфликту «транспорт-пешеход».  $0,5 \leq K_{y35} \leq 1,0$  – выбирается субъективно в зависимости от наличия и эффективности работы пешеходных ограждений.

$K_t$  – коэффициент времени:

$$K_t = 10^{-3} \cdot \Phi_{\text{гнр}};$$

где  $\Phi_{\text{гнр}}$  – годовой фонд времени работы регулируемого перекрестка в нерегулируемом режиме под расчетной нагрузкой.  $\Phi_{\text{гнр}} = 1500$  ч/год.

Таким образом, рассмотрены все коэффициенты входящие в формулу определения потенциальной опасности конфликтной точки  $P_{он}$ .

Потенциальная опасность *конфликтной зоны* определяется по формуле:

$$P_{oz} = \left[ \sum_{i=1}^N (P_{oi}^{1,5}) \right]^{0,65},$$

где  $N$  – количество конфликтных точек в конфликтной зоне.

Суммируются все значения потенциальной опасности, превышающие порог чувствительности для нерегулируемого режима, равный 0,77 усл.ед.  $P_o$ .

Потенциальная опасность второстепенных («небольших») конфликтных зон в случае, если они связаны между собой общими траекториями движения второстепенных транспортных потоков уменьшается (к тем конфликтным зонам, которые не связаны такими траекториями, это не относится). Потенциальная опасность второстепенных конфликтных зон рассчитывается по формуле:

$$P_{oz}^* = P_{oz} \cdot e^{-\beta z} \text{ пр.ед/год, } 0 \leq \beta_z \leq 1,$$

$$\beta = \frac{P_o^m - P_o}{P_o^m (S - 5K_{nn})}.$$

где  $P_{oz}^*$  – расчетное значение потенциальной опасности в исследуемой второстепенной конфликтной зоне;

$P_{oz}$  – начальное значение потенциальной опасности в исследуемой второстепенной конфликтной зоне;

$P_o^m$  – максимальное значение потенциальной опасности в конфликтной точке «главной» конфликтной зоны;

$P_o$  – максимальное значение потенциальной опасности в конфликтной точке исследуемой конфликтной зоны;

$S$  – расстояние между ближайшими конфликтными точками исследуемой и «главной» конфликтной зоны.

Вероятное число аварий в конфликтной зоне определяется по формуле:

$$P_{az} = 0,34843 \cdot P_{oz}^* - 0,08685 \text{ пр.ав/г,}$$

Суммарная аварийность нерегулируемого режима ( $P_{ан}$ ) определяется по формуле:

$$P_{ан} = \sum_{i=1}^{j_n} P_{azi} \text{ пр.ав/г,}$$

где  $j_n$  – количество конфликтных зон на перекрестке в нерегулируемом режиме.

#### 5.2.2.2.2. *Определение потенциальной опасности внутрифазного режима движения*

Расчет потенциальной опасности рекомендуется производить так же, как и для перекрестка, работающего в нерегулируемом режиме. При этом, в качестве расчетной интенсивности движения главного конфликтующего потока принимается:

$$q_1^* = \frac{q_1}{\lambda_1},$$

где  $\lambda_1$  – доля зеленого сигнала в цикле для главного направления.

*Коэффициент времени определяется по формуле:*

$$K_t = 10^{-3} \cdot \Phi_{зр} \cdot \lambda;$$

где  $\Phi_{зр}$  – годовой фонд времени работы объекта в регулируемом режиме под расчетной нагрузкой (см. табл.16).

$\lambda$  – доля зеленого сигнала в светофорном цикле для данной конфликтной точки.

Потенциальная опасность в конфликтной точке внутрифазного режима определяется по формуле:

$$P_o = P_{он}^{1,2} \cdot K_v^{0,94} \cdot K_{\epsilon}^{1,08} \cdot K_p^{1,1} \cdot K_n^{0,96} \cdot K_y^{1,02} \cdot K_t^{1,0}$$

Потенциальная опасность конфликтной зоны определяется по формуле:

$$P_{оз} = \left[ \sum_{i=1}^N (P_{oi}^{0,5}) \right]^{0,85}$$

Суммируются все значения потенциальной опасности, превышающей порог чувствительности для внутрифазного режима, равный 1,5 усл.ед.  $P_o$ .

Вероятное число аварий в конфликтной зоне определяется по формуле:

$$P_{ав} = 0,33423 \cdot P_{оз}^* + 0,33915 \text{ пр.ав/г.}$$

Суммарная прогнозируемая аварийность ( $P_{ав}$ ) внутрифазного режима определяется по формуле:

$$P_{ав} = \sum_{i=1}^{j_{\epsilon}} P_{azi} \text{ пр.ав/г.}$$

где  $j_{\epsilon}$  – количество конфликтных зон на перекрестке во внутрифазном режиме.

### 5.2.2.2.3. Определение потенциальной опасности межфазного режима движения

Межфазный конфликт является следствием неправильного выбора переходного интервала и (или) нарушений, допускаемых конфликтующими участниками.

**Конфликтное время ( $t_{кф}$ )** – время, в течение которого имеет ся возможность конфликтного движения двух конфликтующих транспортных потоков, которые движутся в разноименных фазах светофорного цикла (см. рис. 30).

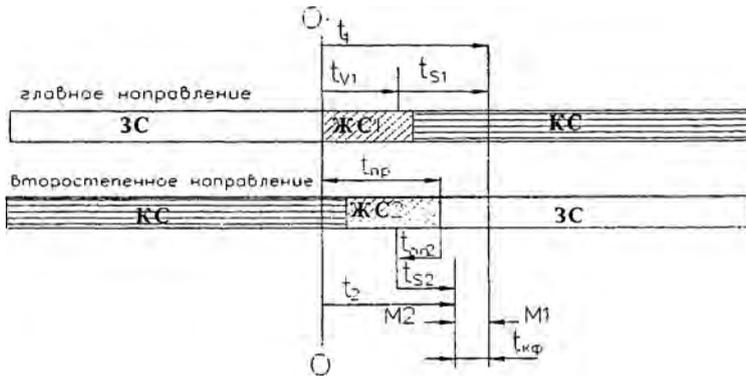


Рис. 30. Структура конфликтного времени [9]  
главное (1) – направление предыдущей фазы;  
второстепенное (2) – направление последующей фазы

На рис. 30:

- 0-0 – момент выключения зеленого сигнала для первого (главного) конфликтующего потока (или момент включения желтого сигнала  $t_{np1}$ ) – точка отсчета конфликтного времени;
- $t_{np}$  – переходной интервал – время между выключением зеленого сигнала в предыдущем направлении и включением его в последующем направлении.
- $t_{v1}$  – время с момента включения желтого сигнала (ЖС1) до проезда последним главным конфликтующим участником стоп-линии;

- $t_{s1}$  – время с момента проезда стоп–линии до момента освобождения конфликтной точки главным конфликтующим участником;
- $t_1$  – суммарное время с момента включения желтого сигнала (*ЖС1*) до момента освобождения конфликтной точки главным конфликтующим участником;
- $t_{он2}$  – время опережения второстепенным конфликтующим участником момента включения зеленого сигнала на второстепенном направлении (*ЗС2*);
- $t_{s2}$  – время с момента пересечения второстепенным участником стоп–линии до момента достижения им конфликтной точки;
- $t_2$  – суммарное время с момента выключения зеленого сигнала для главного направления (*ЖС1*) до момента достижения конфликтной точки второстепенным конфликтующим участником;
- $t_{кф}$  – конфликтное время;  $t_{кф} = t_1 - t_2$ .
- M1* – момент освобождения конфликтной точки главным конфликтующим участником.
- M2* – момент достижения второстепенным конфликтующим участником конфликтной точки;

В течение этого времени главные конфликтующие участники еще могут не освободить конфликтную точку, продолжая движение, а второстепенные конфликтующие участники, начав движение на зеленый сигнал светофора (или чуть раньше), уже могут достигнуть этой конфликтной точки. Конфликтное время определяется отдельно для каждой исследуемой конфликтной точки. Главным считается направление предыдущей фазы, а второстепенным – направление последующей фазы.

Потенциальная опасность определяется дважды – при прямом переходе (от предыдущей фазы к последующей –  $P_{o12}$ ) и при обратном переходе (от последующей к предыдущей –  $P_{o21}$ ). Формула для определения потенциальной опасности в конфликтной точке будет иметь следующий вид:

$$P_{o12} = P_{он12}^{0,92} \cdot K_v^{1,18} \cdot K_\epsilon^{1,04} \cdot K_{y12}^{0,94} \cdot K_{н12}^{1,08} \cdot K_{p12}^{1,0} \cdot K_{t12}^{1,0};$$

$$P_{o21} = P_{он21}^{0,92} \cdot K_v^{1,08} \cdot K_\epsilon^{1,04} \cdot K_{y21}^{0,94} \cdot K_{н21}^{1,08} \cdot K_{p21}^{1,0} \cdot K_{t21}^{1,0}.$$

Поскольку из статистической отчетности практически невозможно определить, в каком из двух конфликтных режимов межфазного движения произошла авария, то потенциальная опасность обоих режимов суммируется и дальнейшие исследования проводятся уже только с суммарной потенциальной опасностью,  $P_{ом}$ :

$$P_{ом} = P_{o12} + P_{o21}.$$

Начальная вероятность конфликта, определяется по формуле:

$$P_{он12} = q_1 \left( q_{н2} \frac{1+X_2}{2} + q_2 \frac{1-X_2}{2} \right),$$

$$P_{он21} = q_2 \left( q_{н1} \frac{1+X_1}{2} + q_1 \frac{1-X_1}{2} \right).$$

Коэффициент  $K_\rho$  определяется для двух режимов движения:

$$K_{p12} = 0,8 \frac{q_2^* - 0,03}{0,03} \cdot \sqrt{\frac{K_{нн1} \cdot q_1 + K_{нн2} \cdot q_2}{q_1 + q_2}},$$

где  $q_2^*$  – расчетная ИД второстепенного направления при прямом переходе, а/с:

$$q_2^* = \left( q_{н2} \frac{(1+X_2)}{2} + q_2 \frac{(1-X_2)}{2} \right) \frac{K_{нн12} - 1}{4},$$

$$K_{p21} = 0,8 \frac{q_2^{**} - 0,03}{0,03} \cdot \sqrt{\frac{K_{nn1} \cdot q_1 + K_{nn2} \cdot q_2}{q_1 + q_2}},$$

где  $q_1^{**}$  – расчетная ИД второстепенного направления при обратном переходе, а/с:

$$q_1^{**} = \left( q_{n1} \frac{1 + X_1}{2} + q_1 \frac{1 - X_1}{2} \right) \frac{K_{n21} - 1}{4}.$$

Конфликтное время ( $t_{кф}$ ) определяется для двух режимов конфликтного движения по формуле:  $t_{кф} = t_1 - t_2$ .

где  $t_1$  – суммарное время с момента выключения зеленого сигнала до момента освобождения конфликтной точки последним главным конфликтующим участником:  $t_1 = t_{v1} + t_{s1}$ .

Время с момента пересечения стоп–линии до момента освобождения конфликтной точки последним главным конфликтующим участником определяется по формуле:

$$t_{s1} = \frac{S_1 + 5 * K_{nn1}}{v_1},$$

где  $S_1$  – расстояние (по траектории) от конфликтной точки до стоп–линии главного транспортного потока, м.

Доля желтого сигнала, используемая водителями для въезда на регулируемый перекресток, рассчитывается по следующей формуле:

*при отсутствии зеленого мигания:*

$$t_{v1} = \frac{2 + 0,2 \cdot v_{o1}}{2},$$

при наличии зеленого мигания:

$$t_{v1} = \frac{1 + 0,2 \cdot v_{o1}}{2},$$

где  $v_{o1}$  – скорость движения главного транспортного потока при подходе к регулируемому перекрестку, м/с;

$t_{v1}$  – время, с момента включения желтого сигнала до проезда стоп–линии последним главным конфликтующим участником, с.

$t_2$  – суммарное время с момента выключения зеленого сигнала для ГКП до момента достижения конфликтной точки первым второстепенным конфликтующим участником:

$$t_2 = t_{np} - t_{on} + t_{s2},$$

где  $t_{np}$  – продолжительность переходного интервала, с (см. рис.29);

$t_{s2}$  – среднее время с момента пересечения второстепенным конфликтующим участником стоп–линии до момента достижения им конфликтной точки:

$$t_{s2} = t_{s2}^M \cdot \frac{1 + x_2}{2} + t_{s2}^V \cdot \frac{1 - x_2}{2},$$

$t_{s2}^V$  – время с момента пересечения второстепенным конфликтующим участником стоп–линии при движении с хода до момента достижения им конфликтной точки, с:

$$t_{s2}^V = \frac{S_2}{v_2},$$

$S_2$  – длина траектории от конфликтной точки до стоп–линии второстепенного транспортного потока, м;

$v_2$  – скорость второстепенного конфликтующего участника при подходе к конфликтной точке, м/с.

$t_{on}$  – время опережения второстепенным конфликтующим участником момента включения зеленого сигнала, рассчитывается по формуле:

$$t_{s2}^{II} = 0,8 \cdot \sqrt{S_2 \cdot K_{пн2}};$$

$t_{s2}^M$  – время с момента пересечения второстепенным конфликтующим участником стоп-линии при трогании с места до момента достижения им конфликтной точки, с;

$$t_{on2} = \frac{t_{ж2}}{2} + \sqrt{\frac{t_{ж2}^2}{4} - t_{ж2}} \leq t_{ж2}$$

$t_{ж2}$  – время горения желтого сигнала для второстепенного направления, с.

**Коэффициент времени** определяется по формуле:

$$K_{t12} = \frac{10^{-3} \cdot \Phi_{зр} \cdot t_{кф12}}{4C} (K_{н12} - 1),$$

$$K_{t21} = \frac{10^{-3} \cdot \Phi_{зр} \cdot t_{кф21}}{4C} (K_{н21} - 1).$$

Потенциальная опасность конфликтной зоны определяется по формуле:

$$P_{oz} = \left[ \sum_{i=1}^N (P_{ом}^{0,75}) \right]^{0,5}.$$

Суммируются все значения потенциальной опасности, превышающей порог чувствительности для межфазного режима, равный 0,1 усл.ед. $P_o$ .

Вероятное число аварий в конфликтной зоне определяется по формуле:

$$P_{az} = 1,4656 \cdot P_{oz}^* \text{ пр.ав/г.}$$

Суммарная аварийность межфазного режима движения определяется по формуле:

$$P_{ам} = \sum_{i=1}^{j_M} P_{azi} \text{ пр.ав/г,}$$

где  $j_M$  – количество конфликтных зон на перекрестке в межфазном режиме.

### **5.2.2.3. Методика прогнозирования аварийности в конфликте поворотный транспорт–пешеход на регулируемых перекрестках**

Основные положения методики подобны приведенной в п.5.2.2.2, однако имеются различия, связанные с особенностями исследуемого конфликта [34,39]. Расчет потенциальной опасности производится аналогично п.5.2.2.2.1, а имеющиеся различия приведены далее в тексте.

Для исследуемого конфликта принято допущение, что конфликтная точка расположена посередине полосы движения на пешеходном переходе, а ее границами являются границы полосы движения и границы перехода (рис. 31). Следовательно, на исследуемой части пешеходного перехода число конфликтных точек равно числу полос движения на выходе перекрестка.

Под конфликтной зоной понимают некоторую группу компактно расположенных и взаимодействующих между собой конфликтных точек, границы которых соприкасаются или пересекаются. Следовательно, та часть пешеходного перехода, на которой происходит конфликтное взаимодействие поворотных транспортных и пешеходных потоков, представляет собой конфликтную зону, которая

является единственной для исследуемого очага. Поскольку в исследуемом конфликте с пешеходами взаимодействуют два транспортных потока – левоповоротный и правоповоротный, то потенциальная опасность определяется для каждого потока отдельно, а затем суммируется в пределах одной конфликтной зоны [25].

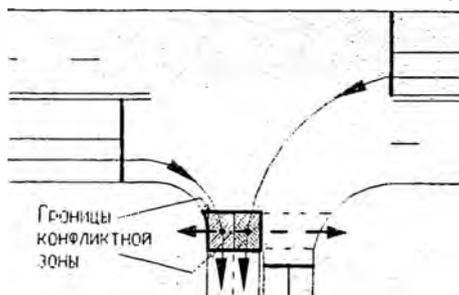


Рис. 31. Конфликтные точки в конфликте поворотный транспорт – пешеход и границы конфликтной зоны

Структурная формула для расчета потенциальной опасности конфликтной точки имеет следующий вид:

$$P_O = P_{ОН}^{0,92} \cdot K_v^{0,84} \cdot K_v^{0,86} \cdot K_p^{1,06} \cdot K_n^{1,02} \cdot K_y^{1,02} \cdot K_t, \text{ усл.ед.пот.опасн.}$$

*Начальная вероятность конфликта  $P_{ОН}$* , с учетом количества рядов пешеходов, определяется по формуле:

$$P_{ОН} = \frac{q_{нов}}{\lambda} \cdot \frac{2n_{nl}}{C},$$

где  $q_{нов}$  – интенсивность движения поворотного транспортного потока, авт./с;

$\lambda$  – доля зеленого сигнала в цикле для транспортного потока;

$n_{nl}$  – число рядов пешеходов первого направления в цикле (см. раздел 3.1.2.1.2);

$C$  – длительность цикла светофорного регулирования.

Коэффициент скоростей ( $K_v$ ) определяется по п. 5.2.2.2.1, при этом скорость движения пешехода принята:  $v_1 = 1,4$ , м/с;  $v_2 = v_{нов} \approx 0,3 * R$ , м/с [21].

Коэффициент вида конфликта ( $K_g$ ) определяется по п. 5.2.2.2.1, при этом:

- при определении коэффициента  $K_{g1}$  принято:  $l_1 = b_1 = 1$  м;
- для конфликта поворотный транспорт – попутный пешеход принято:  $K_{g2} = 1,6$ ;
- для конфликта поворотный транспорт – встречный пешеход принято:  $K_{g2} = 1,2$ .

**Коэффициент плотности**,  $K_p$ , рассчитывается по следующей формуле:

$$K_p = 0,8 \frac{N_n - 3}{3} \cdot \sqrt{\frac{K_{nn1} \cdot q_n + K_{nn2} \cdot q_2}{q_n + q_2}},$$

где  $N_o$  – число пешеходов в группе, идущей по пешех. переходу, чел./цикл.

В общем случае необходимо иметь информацию о величине каждой из групп пешеходов, идущих с обеих сторон пешеходного перехода. Однако в 95% случаев усредненные величины групп пешеходов на подходах к переходу одинаковы, поэтому

$$N_o = \frac{1}{2} q_n (C - t_{zn}) \text{ чел./цикл},$$

где  $q_n$  – интенсивность движения пешеходов, чел./с;

$t_{zn}$  – длительность зеленого немигающего сигнала для пешеходов, с.

$K_{nn}$  – (условный) динамический коэффициент приведения для пешеходов. Принято:

$$K_{\text{птт}} \approx 0,15.$$

**Коэффициент нарушений**  $K_H$  рассчитывается по формуле:

$$K_H = 1 + 0,05(V_n^2 \cdot X_n \cdot q_n \cdot K_{\text{внн}} + V_2^2 \cdot X_m \cdot q_2 \cdot K_{\text{вн2}}),$$

где  $X_n$  – коэффициент загрузки перехода пешеходами:

$$X_n = \frac{t_n}{t_{zn} + t_{npr}},$$

где  $t_n$  – время, занятое пешеходами, с (см. 3.1.2.1.2);

$t_{npr}$  – длительность переходного интервала от пешеходов к транспорту, с;

$v_2$  – скорость поворотного транспортного потока, м/с;

$X_T$  – коэффициент загрузки полосы транспортом (см. 3.1.2.1.2);

$K_{\text{внн}}$  – коэффициент влияния пешеходов на вероятность возникновения конфликта.

Принято:  $K_{\text{внн}} = 0,2$ ;

$q_n$  – интенсивность движения пешеходов, чел/ч;

$K_{\text{ин}}, V_2, q_2$  и  $K_{\text{вн2}}$  – определены в п. 5.2.2.2.1.

Коэффициент условий,  $K_y$ , определяется по п. 5.2.2.2.1, при этом:

**Коэффициент**  $K_{y13}$ , **учитывающий боковую видимость**, определяется по формуле:

$$K_{y13} = 1 + \frac{RK_{\text{пн}}}{5l_{\text{отн}}}$$

где  $R$  – радиус закругления кромки проезжей части, м;

$l_{\text{отн}}$  – отнесение пешеходного перехода от кромки пересекаемой улицы,  $l_{\text{отн}} \leq 10$  м.

Коэффициент  $K_{y14}$ , учитывающий степень прозрачности треугольника боковой видимости (видимость в его пределах), для левоповоротного транспортного потока равен 1. Для правоповоротного потока треугольник боковой видимости (рис. 32) ограничен с входа 1 расстоянием  $S_2 = 30$  м, а с выхода 4 расстоянием:

$$S_1 = b_{пеш} + l_{отн}.$$



Рис. 32. Схема определения боковой видимости в конфликте поворотный транспорт - пешеход

Коэффициент одновременности конфликта  $K_{y15}$  с учетом двух транспортных потоков, проезжающих через пешеходный переход, определяется по формуле:

$$K_{y15} = \frac{1,25q_{лев} + q_{прав}}{q_{max}} \leq 2,$$

где  $q_{лев}$  – интенсивность движения левоповоротного транспортного потока, авт./с;

$q_{прав}$  – интенсивность движения правоповоротного транспортного потока авт./с;

$q_{max}$  – большая (из двух) интенсивность движения поворотных транспортных потоков, авт./с.

**Коэффициент боковой видимости**  $K_{y31}$  определяется по формуле:

$$K_{y31} = 1 + 0,5 \frac{v_{пов}}{l_{отн} + 2},$$

где  $v_{пов}$  – скорость движения поворотного транспортного потока, м/с.

При расчете **коэффициента времени**  $K_t$  доля зеленого сигнала в цикле, при котором происходит взаимодействие поворотного транспортного и пешеходного потоков, определяется с учетом структуры сигналов транспортного и пешеходного светофоров:

$$\lambda = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{t_{zпов}}{C} \\ \frac{t_{zn} + t_{nпр}}{C} \end{array} \right\},$$

где  $t_{zпов}$  – длительность зеленого сигнала для поворотного транспорта, с;

$t_{zn}$  – длительность зеленого немигающего сигнала для пешеходов, с;

$t_{nпр}$  – длительность переходного сигнала для пешеходов, с.

Потенциальная опасность **конфликтной зоны** определяется по формуле:

$$P_{OZ} = \left[ \sum_{i=1}^N (P_{oi}^{0,6}) \right]^{0,8}, \text{ усл. ед. потенц. опасн.}$$

Суммируются значения потенциальной опасности, превышающие порог чувствительности, равный  $P_{O0} = 0,01$  усл. ед. потенц. опасн.

Вероятное число приведенных аварий определяется по формуле:

$$P'_a = 0,042 P_{OZ} - 0,01, \text{ прив. ав./год.}$$

Вероятное число аварий со смертельным исходом,  $P_a^C$ :

$$P_a^C = 0,03 \cdot P'_a, \text{ ав/год.}$$

Вероятное число аварий с ранением,  $P_a^P$

$$P_a^P = 0,8 \cdot P'_a, \text{ ав/год.}$$

Вероятное число аварий с материальным ущербом (неотчетных),  $P_a^{My}$ :

$$P_a^{My} = 0,17 \cdot P'_a, \text{ ав/год.}$$

### 5.2.3. МЕТОД КОНФЛИКТНЫХ СИТУАЦИЙ

Метод конфликтных ситуаций – один из самых современных методов прогнозирования аварийности на конфликтных объектах [9,16,55]. Он основан на существовании довольно строгой зависимости между количеством конфликтных ситуаций и аварий. Подсчитав за относительно небольшое время количество конфликтных ситуаций на данном объекте, можно с достаточной точностью определить не только количество ожидаемых аварий, но и основные причины аварийности.

*Конфликтная ситуация* – такая дорожно-транспортная ситуация, при которой в течение последующего времени (до 1с) произойдет столкновение или иная коллизия, если хотя бы один из участников не предпримет экстренные уклончивые действия [9]. По степени опасности конфликтные ситуации делятся на легкие, средние и тяжелые:

**Легкая** – характеризуется опасным маневрированием и относительно умеренной вероятностью возникновения коллизии ("очень опасно").

**Средняя** – характеризуется очень опасным маневрированием и высокой вероятностью возникновения коллизии ("чудом пронесло").

**Тяжелая** – ситуация, при которой имеется факт совершения легкой коллизии, не приведшей, однако, к существенным физическим повреждениям ("чудом уцелел").

Метод позволяет не ждать длительного периода, когда накопится достаточный статистический материал по аварийности, чтобы выпол-

нить корректировку решений по организации дорожного движения [41,53]. После внедрения мероприятий проводятся исследования конфликтных ситуаций, определяются опасные места, рассчитывается вероятное количество аварий и принимаются соответствующие решения [51].

Метод конфликтных ситуаций является весьма действенным для прогнозирования аварийности, особенно на вновь построенных объектах улично-дорожной сети и, особенно, на участках, где имеет место взаимодействие транспортных и пешеходных потоков [56].

Измерения конфликтных ситуаций на объектах УДС производятся, как правило, на стационарных постах. В течение определенного периода времени (около 5 часов) наблюдатели фиксируют конфликтные ситуации – схему движения участников, развитие ситуации, степень ее тяжести, условия и т. д. В результате, подсчитав, например, за 5 часов, число конфликтных ситуаций на данном объекте, переведя его в среднечасовое число и перемножив на подходящий к этому случаю коэффициент  $\eta_{кф}$ , получают ожидаемое число аварий за год:

$$P_a = \eta_{кф} \cdot n_{кфс} \cdot \Phi_2;$$

где  $P_a$  – прогнозируемое число аварий; ав/год;

$n_{кфс}$  – среднечасовое число конфликтных ситуаций; кфс/ч;

$\eta_{кф}$  – коэффициент приведения;

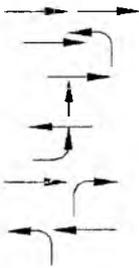
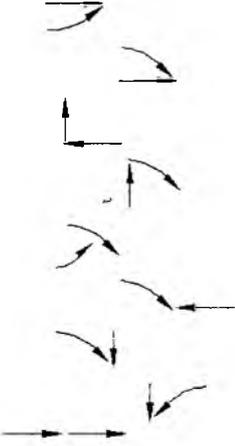
$\Phi_2$  – коэффициент приведения; ч/год.

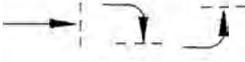
В табл. 19 приведены значения коэффициентов приведения  $\eta_{кф}$  конфликтных ситуаций к авариям, полученные различными авторами.

Таблица 19

### Значения коэффициентов приведения $\eta_{кф}$ [9,35,63]

Объект	КФ	Особенность	$\eta_{кф} \cdot 10^3$	Источник
1	2	3	4	5
–	Т–Т	$V \leq 30 \text{ км/ч}$	2,4	К. Хайден, Швеция
–	Т–Т	$V > 30 \text{ км/ч}$	9,6	
–	Т–П	$V_0 \leq 30 \text{ км/ч}$	11,9	
–	Т–П	$V_0 > 30 \text{ км/ч}$	34,0	

1	2	3	4	5
-	T-T	$V \leq 30 \text{ км/ч}$	2,2	Р. Кульмала, Финляндия
-	T-T	$V > 30 \text{ км/ч}$	24,2	
-	T-П	$V_0 \leq 30 \text{ км/ч}$	15,4	
-	T-П	$V_0 > 30 \text{ км/ч}$	55,1	
НПК	T-T		10,4	Х. Эрке, Германия
			20,8	
			19,2	
			16,2	
			12,7	
7,1				
-	T-T	$V > 30 \text{ км/ч}$	53,3	Х. Людвигсен, Дания
-	T-T	-	60	Оулдер, Спайсер, США
улицы городов, перекрестки, дорога 3 кат., дорога 1 кат.	T-T	г. Вильнюс Литва	10,0 1...3 4,5 2,4	В. Шештокас, Д. Самойлов, Литва
перекрестки	T-T		5,1	Р. Дж. Браун ЮАР
			5,1	
			11,9	
			3,0	
			0,4	
			13,0	
			2,0	
			0,7	
7,0				

1	2	3	4	5
-	Т-П	-	25	Д. Антонов, Т. Метсвахи, Эстония
РПК НПК	Т-Т	-	17,4 15,7	Амундсен, Ларсен, Норвегия
РПК НПК РПК НПК	Т-Т	$V \leq 40 \text{ км/ч}$ $V \leq 40 \text{ км/ч}$ $V > 40 \text{ км/ч}$ $V > 40 \text{ км/ч}$	27,6 19,6 28,5 26,9	Олдер, Шиппи, Великобритания (левостороннее движение)
РПК	Т-Т		5,8	Ю. Врубель, Республика Беларусь
КПК	Т-Т		0,8	
НПХ	Т-П		2	
Необознач.	Т-П		3	
ОП МПТ	Т-П		8	
РПК	Т-П	 	0,41 <sup>*)</sup> 0,37 <sup>*)</sup>	Е. Кот, Республика Беларусь

Примечание \*) Зависимость относится к приведенному числу конфликтных ситуаций,  $n'_{кфс}$ , и числу приведенному аварий,  $P'_a$ .

К сожалению, полученный таким образом прогноз не отличается высокой точностью, поскольку не учитывается степень опасности конфликтных ситуаций и тяжесть последствий аварий. Последние исследования конфликта поворотный транспорт – пешеход на регулируемых перекрестках [21,24], позволили устранить этот недостаток и резко повысить точность прогнозирования.

С учетом приведения аварий и конфликтных ситуаций расчетная формула имеет следующий вид:

$$P'_a = n'_{\text{кфс}} \cdot \eta_{\text{кф}} \cdot \Phi_2, \text{ прив. ав./год};$$

где  $n'_{\text{кфс}}$  – среднечасовое значение приведенных (к легкой) конфликтных ситуаций, прив.кфс./ч:

$$n'_{\text{кфс}} = n^{\text{л}}_{\text{кфс}} + n^{\text{ср}}_{\text{кфс}} \cdot K^{\text{ср}}_{\text{кфс}} + n^{\text{т}}_{\text{кфс}} \cdot K^{\text{т}}_{\text{кфс}}, \text{ прив. кфс/ч},$$

где  $n^{\text{л}}_{\text{кфс}}$ ,  $n^{\text{ср}}_{\text{кфс}}$ ,  $n^{\text{т}}_{\text{кфс}}$  – соответственно среднечасовое число легких, средних и тяжелых конфликтных ситуаций, кфс/ч;

$K^{\text{ср}}_{\text{нк}}$ ,  $K^{\text{т}}_{\text{нк}}$  – коэффициенты приведения по степени опасности соответственно средних и тяжелых конфликтных ситуаций.

$P'_a$  – среднегодовое число аварий, приведенных к "неотчетным", прив. ав. /год;

Коэффициенты приведения  $K^{\text{ср}}_{\text{нк}}$ ,  $K^{\text{т}}_{\text{нк}}$  определяются как отношение *условной опасности* (риска аварии, характеризуемого функцией скорости участников и их массы) средней ( $R^{\text{ср}}_a$ ) или тяжелой ( $R^{\text{т}}_a$ ) конфликтной ситуации к *условной опасности* легкой конфликтной ситуации  $R^{\text{л}}_a$ :

$$K^{\text{с}}_{\text{нк}} = \frac{R^{\text{ср}}_a}{R^{\text{л}}_a} (=26); \quad K^{\text{т}}_{\text{нк}} = \frac{R^{\text{т}}_a}{R^{\text{л}}_a} (=40).$$

В качестве расчетных для регулируемых перекрестков приняты следующие зависимости:

$P'_a = n'_{\text{кфс}} \cdot \Phi_2 \cdot 0,33 \cdot 10^{-5}$ , прив.ав/год – для конфликта левоповоротный транспорт – пешеход;

$P'_a = n'_{\text{кфс}} \cdot \Phi_2 \cdot 0,27 \cdot 10^{-5}$ , прив.ав/год – для конфликта правоповоротный транспорт – пешеход;

$$n'_{\text{кфс}} = n_{\text{кфс}}^{\text{л}} + 26n_{\text{кфс}}^{\text{ср}} + 40n_{\text{кфс}}^{\text{т}}, \text{ прив.кфс/ч.}$$

Вероятное число аварий данной тяжести последствий для конфликта поворотный транспорт – пешеход на регулируемых перекрестках определяется по формулам:

$$P_a^{\text{с}} = 0,03 \cdot P_a', \text{ ав/год – со смертельным исходом;}$$

$$P_a^{\text{р}} = 0,80 \cdot P_a', \text{ ав/год – с ранением;}$$

$$P_a^{\text{н}} = 0,17 \cdot P_a', \text{ ав/год – неотчетные.}$$

## Раздел 6

# РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВАРИАНТОВ ОРГАНИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ

### 6.1. МЕТОДИКА РАСЧЕТА

Каждое решение по организации дорожного движения должно быть экономически обоснованным, выгодным с точки зрения общенациональных интересов. Поэтому по всем вариантам разрабатываемых предложений необходимо выполнить расчет экономической эффективности. Ниже будет приведен простейший расчет экономической эффективности сопоставляемых вариантов решений.

Годовой экономический эффект от внедрения мероприятий (решений),  $\mathcal{E}_z$ , определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_z = \Delta Z - K_2 \cdot E_n, \text{ у.е./год,}$$

где  $\Delta Z$  – годовая экономия:

$$\Delta Z = Z_1 - Z_2, \text{ у.е./год;}$$

где  $Z_1$  – суммарные текущие затраты при существующей организации движения, у.е./год. К ним относятся суммарные потери в дорожном движении, а также расходы на содержание инфраструктуры в той части, в которой она изменяется в сопоставляемых вариантах. Например, организация заездного крамана на ОП МПТ и установка пешеходных ограждений требует дополнительного ухода и, соответственно, дополнительных расходов.

$Z_2$  – суммарные текущие затраты при сопоставляемой организации движения, у.е./год;

$K_2$  – единовременные затраты (капитальные вложения), необходимые для внедрения сопоставляемого варианта, у.е. К ним относятся расходы на исследование, проектирование, строительно-монтажные работы, стоимость оборудования и т.д.

$E_n$  – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений:

$$E_n = \frac{1}{T_{окн}},$$

где  $T_{окн}$  – нормативный срок окупаемости капитальных вложений, лет. Для объектов капитального строительства  $T_{окн}$  равен, примерно, 20 лет; для покрытий – от 6 до 10 лет; для систем регулирования – примерно, 6 лет; для разметки из пластика – примерно, 3 года; для разметки из нитрокраски – 1 год и т.д. При отсутствии иных данных можно принимать:  $E_n \approx 0,15$ .

Коэффициент экономической эффективности предложений по совершенствованию ОДД,  $E$ , определяется по формуле:

$$E = \frac{\Delta Z}{K_2}.$$

Срок окупаемости,  $T_{ок}$ , определяется по формуле:

$$T_{ок} = \frac{K_2}{\Delta Z}, \text{ лет.}$$

Если  $E \geq E_n$ , или  $T_{ок} \leq T_{окн}$ , по внедрение предложений экономически выгодно. В остальных случаях целесообразность внедрения требует дополнительного обоснования. При сопоставлении нескольких вариантов решения преимущество, как правило, получает тот из них, который дает больший годовой эффект. При этом, однако, следует учитывать возможность изыскания значительных капитальных вложений, сроки внедрения и т.д.

В табл. 20 приведена примерная стоимость работ по обустройству ДД, позволяющая производить простейшие расчеты по экономической эффективности сопоставляемых вариантов решений. При решении более сложных задач необходимо пользоваться утвержденными методиками расчета экономической эффективности.

## Примерная стоимость работ по обустройству

Вид работ		Наименование	Ед. измерения	Цена, у.е.	Коеф. $E_n$
1		2	3	4	5
Покрытие	Устройство	Асфальтобетон, проезжая часть	м <sup>2</sup>	6,00	0,12
		Тротуар	м <sup>2</sup>	2,45	0,12
		Бортовой камень	м. пог.	5,10	0,12
	Разборка	Асфальтобетон, проезжая часть	м <sup>2</sup>	0,44	0,12
		Тротуар	м <sup>2</sup>	0,03	0,12
		Бортовой камень	м. пог.	0,27	0,12
	Содержание	Цементобетон	м <sup>2</sup>	0,10	1,00
		Асфальтобетон	м <sup>2</sup>	0,11	1,00
		Чернощебеночное	м <sup>2</sup>	0,13	1,00
	Капитальный ремонт проезжей части	Цементобетон	м <sup>2</sup>	4,10	0,08
		Асфальтобетон	м <sup>2</sup>	3,00	0,12
		Чернощебеночное	м <sup>2</sup>	2,40	0,15
Озеленение	Устройство газонов	м <sup>2</sup>	0,80	0,15	
	Посадка кустарника	шт.	1,60	0,15	
	Посадка саженцев	шт.	2,50	0,05	
	Посадка деревьев	шт.	53,0	0,08	
Сооружения	Подземный пешеходный переход	м <sup>2</sup>	240	0,05	
	Транспортный 4-полосный тоннель	м <sup>2</sup>	120	0,05	
	Транспортный 4-полосный путепровод	м <sup>2</sup>	360	0,05	
Строительно-монтажные работы	Установка плоского ДЗ	шт.	25,0	0,15	
	Установка объемного ДЗ	шт.	61,0	0,15	
	Установка пешеходного СФ	шт.	52,0	0,15	
	Установка транспортного СФ	шт.	210	0,15	
	Проложение кабеля	м. пог.	1,80	0,15	

1	2	3	4	5
	Нанесение сплошной линии разметки толщиной 0,1 м	м. пог.	0,24	1,00
	Нанесение сплошной линии разметки толщиной 0,3 м	м. пог.	0,56	1,00
	Нанесение пунктирной линии разметки	м. пог.	0,13	1,00
	Установка металлических перильных ограждений	м. пог.	3,10	0,15
	Установка металлических парпетных ограждений	м. пог.	4,00	0,15

## 6.2. ПРИМЕР РАСЧЕТА ПОТЕРЬ

На участке улицы общегородского значения возник очаг аварийности – в районе остановочного пункта МПТ, расположенного напротив популярного магазина: за год произошло 5 аварий, из которых 2 – с ранением и 3 – с материальным ущербом. Для устранения очага аварийности было предложено два варианта решения:

1 – без проведения исследований – ограничить скорость движения на всем участке до 40 км/ч.

2 – после проведения исследований – перенести ОП ближе к перекрестку, организовать заездной краман и установить пешеходные ограждения длиной 150м на противоположной стороне улицы напротив магазина.

Требуется оценить экономическую эффективность обоих вариантов решения.

### 6.2.1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К РАСЧЕТУ ТАБЛ. 21

Таблица 21

Параметр	Обозначение	Размерность	Величина
1	2	3	4
Протяженность участка	$S$	км	0,5
Ширина улицы	$B_y$	м	55
Ширина ПЧ	$B$	м	14,5

1	2	3	4
Число полос движения	$i$	–	$2 \times 2 = 4$
Покрытие ПЧ	–	–	асфальто-бетон
Тип застройки	–	–	жилая
Тип окон	–	–	обычные
Количество выходящих на улицу окон	$N_{ок}$	–	720
Средняя этажность зданий	$n_{эж}$	–	4
Уклон улицы (подъем)	$\alpha$	град	0
Расстояние от середины ближней полосы движения до середины тротуара	$r_2$	м	6,625
Озеленение – однорядное, между тротуаром и зданиями	$i_2$	–	0
	$i_3$	–	1
Средняя ИД в каждом направлении	$Q_i$	а/ч	1000
Число направлений движения ТП	$i$	–	2
Суммарная ИД пешеходов	$Q_{п}$	чел/ч	200
Коэффициент приведения ТП, динамический	$K_{ин}$	–	1,09
Коэффициент приведения ТП, экономический	$K_{пэ}$	–	1,31
Доля общественного транспорта в ТП	$\Delta o$	–	0,025
Доля электротранспорта	$\Delta эл$	–	0,01
Коэффициент приведения электротранспорта, динамический	$K_{ин эл}$	–	2,0
Доля ТС с дизельными двигателями	$\Delta d$	–	0,2
Средний возраст ТС	$\bar{t}$	лет	12
Средняя скорость движения на участке	$\bar{V}$	км/ч	55
Коэффициент вариации распределения скорости движения	$I_V$	–	0,2
Годовой фонд времени	$\Phi_s$	час/год	4200

## 6.2.2. РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ

В качестве эталонного принимаем вариант организации движения, при котором СД равна 60км/ч ( $V_3=60$ км/ч), коэффициент вариации распределения СД равен нулю ( $I_{V3}=0$ ), а все остальные параметры остаются неизменными. Присвоим существующему варианту организации движения индекс "С", эталонному – индекс "Э", предлагаемому варианту с ограничением скорости 40 км/ч – индекс "4", и предлагаемому варианту без ограничения скорости – "5". В расчетах будут приводиться отдельные формулы без пояснения входящих величин.

### 6.2.2.1. Потери от задержек транспорта

$$\Pi_d = \frac{d}{3600} \cdot Q \cdot K_{пз} \cdot \Phi_2 \cdot C_d, \text{ у.е./год,}$$

$$d = \left( \frac{1}{V_i} - \frac{1}{V_3} \right) 3600, \text{ с/а,}$$

$$d_c = d_5 = \left( \frac{1}{55} - \frac{1}{60} \right) 3600 = 5,454 \text{ с/а,}$$

$$d_4 = \left( \frac{1}{40} - \frac{1}{60} \right) 3600 = 30,00 \text{ с/а,}$$

$$Q = 1000 \cdot 2 = 2000 \text{ а/ч, } C_d = 2,2 \text{ у.е./час,}$$

$$\Pi_{dc} = \Pi_{ds} = \frac{5,454}{3600} 2000 \cdot 1,31 \cdot 4200 \cdot 0,5 \cdot 2,2 = 18 \ 338 \text{ у.е./год,}$$

$$\Pi_{d4} = \frac{30}{3600} 2000 \cdot 1,31 \cdot 4200 \cdot 0,5 \cdot 2,2 = 100 \ 870 \text{ у.е./год.}$$

### 6.2.2.2. Потери от перерасхода топлива

$$\Pi_F = 0,01 \cdot e_F \cdot Q^* \cdot \Phi_r \cdot S \cdot C_F, \text{ у.е./год,}$$

$$Q^* = Q[1 - \Delta \varepsilon \lambda (1 + K_{\text{пн}\varepsilon\lambda} - K_{\text{пн}})],$$

$$Q^* = 2000[1 - 0,01(1 + 2 - 1,09)] = 1962 \text{ а/ч},$$

$$e_F = F_\Phi - F_3, \text{ л/100км},$$

$$F = F_v(1 + K_{FG}), \text{ л/100км},$$

$$F_v = F_0 \cdot K_{FV} \cdot K_{\text{пн}}^2, \text{ л/100км},$$

$$F_0 = 7 \text{ л/100км}, C_F = 0,4 \text{ у.е./литр}.$$

$$K_{FV\varepsilon} = 1,04; K_{FVC} = K_{FV5} = K_{FV4} = 1,02; \text{ (рис. 2),}$$

$$F_{V\varepsilon} = 7 \cdot 1,04 \cdot 1,09^2 = 8,65 \text{ л/100км},$$

$$F_{VC} = F_{VS} = F_{V4} = 7 \cdot 1,02 \cdot 1,09^2 = 8,48 \text{ л/100км}.$$

Коэффициент  $K_{FG}$  определяем по рис. 3 (из-за отсутствия данных) по градиенту скорости  $G_v$ . Из табл. 4 определяем уровни обслуживания, УО:

УО<sub>3</sub>=А, середина интервала,

УО<sub>с</sub>=УО<sub>5</sub>=А, середина интервала,

УО<sub>4</sub>=В, середина интервала.

По рис. 3 определяем  $K_{FG}$ :

$$K_{FG\varepsilon} = 0,09,$$

$$K_{FGC} = K_{FG5} = 0,1,$$

$$K_{FG4} = 0,16,$$

$$F_{\text{Э}} = 8,65(1 + 0,09) = 9,43 \text{ л/100км,}$$

$$F_c = 8,48(1 + 0,10) = 9,33 \text{ л/100км,}$$

$$F_4 = 8,48(1 + 0,16) = 9,84 \text{ л/100км,}$$

$$e_{FC} = e_{F5} = 9,33 - 9,43 = -0,1, \text{ л/100км,}$$

$$e_{F4} = 9,84 - 9,43 = 0,41, \text{ л/100км,}$$

$$\Pi_{FC} = \Pi_{F5} = 0,01 \cdot (-0,1) \cdot 1962 \cdot 4200 \cdot 0,5 \cdot 0,4 = -1648, \text{ у.е./год,}$$

$$\Pi_{F4} = 0,01 \cdot 0,41 \cdot 1962 \cdot 4200 \cdot 0,5 \cdot 0,4 = 6757, \text{ у.е./год.}$$

### 6.2.2.3. Суммарные экономические потери

$$\Pi_{\text{ЭКНС}} = \Pi_d + \Pi_F, \text{ у.е./год,}$$

$$\Pi_{\text{ЭКНС}} = \Pi_{\text{ЭКН5}} = 18338 + (-1648) = 16690 \text{ у.е./год,}$$

$$\Pi_{\text{ЭКН4}} = 100870 + 6757 = 107627 \text{ у.е./год,}$$

## 6.2.3. РАСЧЕТ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ

### 6.2.3.1. Потери от выбросов в атмосферу

$$\Pi_m = \Pi_{\text{мнi}} - \Pi_{\text{мнэ}} \text{ у.е./год,}$$

$$\Pi_{\text{мнi}} = \left[ M_o \cdot C_{m_o} + \sum_1^{i=3} (N_i \cdot C_{m_i}) \right]_i \cdot \Phi_2 \cdot S \cdot K_c, \text{ у.е./год,}$$

$$\Pi_{\text{мнэ}} = \left[ M_o \cdot C_{m_o} + \sum_1^{i=3} (N_i \cdot C_{m_i}) \right]_3 \cdot \Phi_2 \cdot S \cdot K_c, \text{ у.е./год,}$$

$$M_o = Q^* \cdot m \cdot [k_{\text{нн}} (k_{\text{mv}} \cdot k_{\text{iv}} - 1) + H_t \cdot k_{\text{mv}} \cdot k_{\text{iv}}], \text{ кг/км,}$$

$$Q^* = Q[1 - \Delta_{эл}(1 + k_{ннэл} - k_{нн})] = 200[1 - 0,01(1 + 2 - 1,09)] = 1962, \text{ а/ч}$$

$$m = 0,02, \text{ кг/км,}$$

$k_{mv}$  – определяется по графику (рис. 4):

$$k_{mv3} = 1; \quad k_{mvc} = k_{mv5} = 1,2;$$

$$k_{mv4} = 3,5; \quad k_{iv} = \sqrt{1 + I_v};$$

$$k_{iv3} = 1; \quad k_{ivc} = k_{iv5} = k_{iv4} = \sqrt{1 + 0,2} = 1,095,$$

$$H_t = \Delta\delta \cdot k_{нн\delta} \cdot k_{t\delta} + \Delta\partial \cdot k_{нн\partial} \cdot k_{t\partial},$$

$$\Delta\delta = 1 - 0,2 - 0,01 = 0,79; \quad \Delta\partial = 0,2,$$

$$k_{нн\delta} = k_{нн\partial} = 1,09,$$

$$k_{t\delta} = 0,08 \cdot (t - 4) = 0,08 \cdot (12 - 4) = 0,64,$$

$$k_{t\partial} = 0,05 \cdot (t - 4) = 0,05 \cdot (12 - 4) = 0,40,$$

$$H_t = 0,79 \cdot 1,09 \cdot 0,64 + 0,2 \cdot 1,09 \cdot 0,4 = 0,638,$$

$$M_{o3} = 1962 \cdot 0,02 [1,09 \cdot (1 \cdot 1 - 1) + 0,638 \cdot 1 \cdot 1] = 25,03 \text{ кг/км,}$$

$$M_{oc} = M_{o5} = 1962 \cdot 0,02 \cdot [1,09 \cdot (1,2 \cdot 1,095 - 1) + 0,638 \cdot 1,2 \cdot 1,095] = 46,32 \text{ кг/км,}$$

$$M_{o4} = 1962 \cdot 0,02 \cdot [1,09 \cdot (3,5 \cdot 1,095 - 1) + 0,638 \cdot 3,5 \cdot 1,095] = 217,10 \text{ кг/км.}$$

**Приведенные (к потребителю) выбросы:**

$$M_i = M_0 \cdot K_{zi}, \text{ кг/км,}$$

где  $K_{zi}$  – коэффициент защиты потребителей:

$$K_{z1} = 1 - \text{водители.}$$

$$K_{z2} = e^{-0,04 (r_2 + 5i_2)} = e^{-0,04 (6,625 + 5 \cdot 0)} = 0,767 \text{ – пешеходы,}$$

$$K_{z3} = e^{-0,04 (r_3 + 5i_3 + 10)} \text{ – жители,}$$

$$r_3 = \sqrt{\left(\frac{B_y - B + 3,75}{2}\right)^2 + \left(\frac{3n_{эм} + 2}{2}\right)^2},$$

$$r_3 = \sqrt{\left(\frac{55 - 14,5 + 3,75}{2}\right)^2 + \left(\frac{3 \cdot 4 + 2}{2}\right)^2} = 23,2 \text{ м,}$$

$$i_3 = 1,$$

$$K_{z3} = e^{-0,04 (23,2 + 5 \cdot 1 + 10)} = 0,217.$$

**Удельное (на 1 км) число потребителей:**

$$N_1 = \frac{(40 \cdot \Delta 0 + 1,5) Q}{V_1} \text{ – водители и пассажиры:}$$

$$N_{12} = \frac{(40 \cdot 0,025 + 1,5) \cdot 2000}{60} = 83,33 \text{ чел/км,}$$

$$N_{1c} = N_{15} = \frac{(40 \cdot 0,025 + 1,5) \cdot 2000}{55} = 90,91 \text{ чел/км,}$$

$$N_{14} = \frac{(40 \cdot 0,025 + 1,5) \cdot 2000}{40} = 125 \text{ чел/км,}$$

$$N_2 = \frac{Q_n}{V_n} \text{ – пешеходы,}$$

$$N_2 = \frac{200}{4} = 50 \text{ чел/км,}$$

$$N_3 \approx N_{ок} = 720 \text{ чел/км – жители,}$$

$$M_{1э} = 25,03; M_{1с} = M_{15} = 46,32; M_{14} = 217,10,$$

$$M_{2э} = 25,03 \cdot 0,767 = 19,2; M_{2с} = M_{25} = 46,32 \cdot 0,767 = 35,52,$$

$$M_{24} = 217,10 \cdot 0,767 = 166,51,$$

$$M_{3э} = 25,03 \cdot 0,217 = 5,43,$$

$$M_{3с} = M_{35} = 46,32 \cdot 0,217 = 10,05,$$

$$M_{34} = 217,10 \cdot 0,217 = 47,11 \text{ кг/км.}$$

### Стоимость ущерба для здоровья:

$$C_{mi} = C_g \cdot 0,02 \cdot \sqrt{M_i - 6} \geq 0, \text{ у.е./чел.час. } C_g = 0,3 \text{ у.е./чел.час,}$$

$$C_{m1э} = 0,0262; \quad C_{m1с} = C_{m15} = 0,0380; \quad C_{m14} = 0,0871,$$

$$C_{m2э} = 0,0217; \quad C_{m2с} = C_{m25} = 0,0326; \quad C_{m24} = 0,0760,$$

$$C_{m3э} = 0; \quad C_{m3с} = C_{m35} = 0,0121; \quad C_{m34} = 0,0384.$$

Принимая значение  $k_c = 1,5$  и  $C_{mo} = 0,025$  (город), получим:

$$P_{mnэ} = (25,03 \cdot 0,025 + 83,33 \cdot 0,0262 + 50 \cdot 0,0217 + 720 \cdot 0) \times \\ \times 4200 \cdot 0,5 \cdot 1,5 = 12266 \text{ у.е./год,}$$

$$P_{mnc} = P_{mnс} = (46,32 \cdot 0,025 + 90,91 \cdot 0,0380 + 50 \cdot 0,0326 + 720 \cdot 0,0121) \times \\ \times 4200 \cdot 0,5 \cdot 1,5 = 47107 \text{ у.е./год,}$$

$$P_{mn4} = (217,10 \cdot 0,025 + 125 \cdot 0,0871 + 50 \cdot 0,0760 + 720 \cdot 0,0384) 4200 \cdot 0,5 \cdot 1,5 = \\ = 159665 \text{ у.е./год}$$

$$P_{mc} = P_{mс} = 47107 - 12266 = 34841 \text{ у.е./год,}$$

$$P_{m4} = 159665 - 12266 = 147399 \text{ у.е./год.}$$

### 6.2.3.2. Потери от транспортного шума

Уровень производимого шума:

$$L_o = 4,3 + 10 \lg [V^2 \cdot Q \cdot (14 \cdot k_{nn} - 13)] + \sum d_o, \text{ дБА},$$

$$\sum d_o = d_\alpha + d_n + d_{nc} + d_t + d_{iv},$$

$$d_\alpha = d_{nc} = 0,$$

$$By/H = 55 / ((3 \cdot 4 + 2) \cdot 2) = 1,96; \quad d_n = 1,5 \text{ (табл.8)},$$

$$d_t = 0,12 \cdot (t - 4) = 0,12 \cdot (12 - 4) = 0,96,$$

$$d_{iv} = 40 Lg(1 + I_v),$$

$$d_{iv3} = 0; \quad d_{ivc} = d_{iv5} = d_{iv4} = 40 Lg(1 + 0,2) = 3,16,$$

$$L_{o3} = 4,3 + 10 \lg [2000 \cdot 60^2 (14 \cdot 1,09 - 13)] + 1,5 + 0,96 = 78,87 \text{ дБА},$$

$$L_{oc} = L_{o5} = 4,3 + 10 \lg [2000 \cdot 55^2 (14 \cdot 1,09 - 13)] + 1,5 + 0,96 + 3,16 = 81,27 \text{ дБА},$$

$$L_{o4} = 4,3 + 10 \lg [2000 \cdot 40^2 (14 \cdot 1,09 - 13)] + 1,5 + 0,96 + 3,16 = 78,51 \text{ дБА}.$$

Уровень приведенного шума:

$$L_i = L_o + \sum d_i,$$

$$\sum d_1 = -12 \text{ дБА} - \text{водители},$$

$$\sum d_2 = d_{r_2} + d_{3_2} - \text{пешеходы}.$$

$$d_{r_2} = -14 \lg \frac{r}{7,5}; \quad \text{поскольку } r_2 < 7,5, \text{ то } d_{r_2} = 0,$$

$d_{3_2} = 0$ , т.к. имеющийся ряд деревьев практически не защищает пешеходов.

$$\sum d_{r_2} = 0,$$

$$\sum d_3 = d_{r_3} + d_{3_3} + d_{3к},$$

$$d_{r_3} = -14 \lg \frac{23,2}{7,5} = -6,86,$$

$$d_{3_2} = -5 \text{ (см. табл. 8),}$$

$$d_{3к} = -12 \text{ (см. табл. 8),}$$

$$L_{1_2} = 78,87 - 12 = 66,87; \quad L_{1c} = L_{15} = 81,27 - 12 = 69,27;$$

$$L_{14} = 78,51 - 12 = 66,51; \quad L_{2_2} = 78,87; \quad L_{2c} = L_{25} = 81,27;$$

$$L_{24} = 78,51; \quad L_{3_2} = 78,87 - 23,86 = 55,01;$$

$$L_{3c} = L_{35} = 81,27 - 23,86 = 57,41; \quad L_{34} = 78,51 - 23,86 = 54,65;$$

Коэффициент удельных потерь от шума:

$$k_{L_i} = 1,85 \cdot 10^{-7} L_i^{3,39} - 0,0312, \text{ дБА,}$$

$$k_{L_{1_2}} = 0,2460; \quad k_{L_{1c}} = k_{L_{15}} = 0,2812; \quad k_{L_{14}} = 0,2410;$$

$$k_{L_{2_2}} = 0,4538; \quad k_{L_{2c}} = k_{L_{25}} = 0,5057; \quad k_{L_{24}} = 0,4464;$$

$$k_{L_{3_2}} = 0,1118; \quad k_{L_{3c}} = k_{L_{35}} = 0,1341; \quad k_{L_{34}} = 0,1086;$$

$$\Pi_{LH} = \sum_1^{i=3} (k_{L_i} \cdot N_i) \cdot \Phi_2 \cdot S \cdot C_L \cdot k_c, \text{ у.е/год,}$$

где  $C_L = 0,3$  у.е./чел.час

$$\Pi_{LH} = (0,246 \cdot 8333 + 0,4538 \cdot 50 + 0,1118 \cdot 720) \cdot 4200 \cdot 0,5 \cdot 0,25 \cdot 1,5 = 116 \, 882,$$

$$P_{LHC} = (0,2812 \cdot 90,91 + 0,5057 \cdot 50 + 0,1341 \cdot 720) \times \\ \times 4200 \cdot 0,5 \cdot 0,25 \cdot 1,5 = 139294,$$

$$P_{LH4} = (0,241 \cdot 125 + 0,4464 \cdot 50 + 0,1086 \cdot 720) \times \\ \times 4200 \cdot 0,5 \cdot 0,25 \cdot 1,5 = 123451,$$

$$P_{LC} = P_{LS} = 139294 - 116882 = 22472 \text{ у.е./год},$$

$$P_{LA} = 123451 - 116882 = 6569 \text{ у.е./год}.$$

**Суммарные экологические потери:**

$$P_{\text{экл}} = P_m + P_L, \text{ у.е./год},$$

$$P_{\text{эклС}} = P_{\text{эклБ}} = 34841 + 22472 = 57313, \text{ у.е./год},$$

$$P_{\text{эклН}} = 147399 + 6569 = 153988, \text{ у.е./год}.$$

## **6.2.4. РАСЧЕТ АВАРИЙНЫХ ПОТЕРЬ**

### **6.2.4.1. Существующая ОДД**

$$P_{a1} = n_{a \text{ тр}} \cdot C_{a \text{ тр}} + n_{a \text{ му}} \cdot C_{a \text{ му}}, \text{ у.е./год},$$

$$n_{a \text{ тр}} = 2. C_{a \text{ тр}} = 1200 \text{ у.е./ав} - \text{табл.12},$$

$$n_{a \text{ му}} = 3. C_{a \text{ му}} = 300 \text{ у.е./ав} - \text{табл.12},$$

$$P_{a1} = 2 \cdot 1200 + 3 \cdot 300 = 3300 \text{ у.е./год}.$$

### **6.2.4.2. Прогнозируемая аварийность, вариант "4"**

$$n_a = n_{a1} (1 - \Delta A), \text{ ав/год},$$

$$\left. \begin{array}{l} \Delta A_{a \text{ тр}} = 0,60 \\ \Delta A_{a \text{ му}} = 0,86 \end{array} \right\} \text{ п. 31. табл. 13,}$$

$$n_{a\ 4p} = 2(1 - 0,60) = 0,8\text{ав} / \text{год},$$

$$n_{a\ 4.uy} = 3(1 - 0,86) = 0,42\text{ав} / \text{год}.$$

$$\Pi_{a4} = 0,8 \cdot 1200 + 0,42 \cdot 300 = 1086 \text{ у.е./год.}$$

#### 6.2.4.3. Прогнозируемая аварийность, вариант "5"

$$\Delta A = 1 - (1 - \Delta A_1) \cdot (1 - \Delta A_2),$$

$$\Delta A_{15p} = 0,61 - \text{табл. 13, п.22,}$$

$$\Delta A_{25p} = 0,73 - \text{табл. 13, п. 28,}$$

$$\Delta A_{5p} = 1 - (1 - 0,61) \cdot (1 - 0,71) = 0,895,$$

$$\Delta A_{15.uy} = 0,64 - \text{табл. 13, п.22,}$$

$$\Delta A_{25.uy} = 0,83 - \text{табл. 13, п. 28,}$$

$$\Delta A_{5.uy} = 1 - (1 - 0,64) \cdot (1 - 0,83) = 0,939,$$

$$n_{a\ 5p} = 2(1 - 0,895) = 0,21 \text{ ав/год},$$

$$n_{a5\ .uy} = 3(1 - 0,939) = 0,183 \text{ ав/год},$$

$$\Pi_{a5} = 0,21 \cdot 1200 + 0,183 \cdot 300 = 307 \text{ у.е./год.}$$

#### 6.2.4.4. Снижение потерь от аварийности

$$\Delta \Pi_{ai} = \Pi_{ai} - \Pi_{ac},$$

$$\Delta \Pi_{a4} = 1086 - 3300 = -2214 \text{ у.е.} / \text{год},$$

$$\Delta \Pi_{a5} = 307 - 3300 = -2993 \text{ у.е.} / \text{год}.$$

### 6.2.5. СУММАРНЫЕ ПОТЕРИ В ДД

$$\Pi = \Pi_{\text{эки}} + \Pi_{\text{экл}} + \Pi_{\text{ав}}, \text{ у.е./год,}$$

$$\Pi_c = 16690 + 57313 + 3300 = 74003, \text{ у.е./год,}$$

$$\Pi_5 = 16690 + 57313 + 307 = 71010, \text{ у.е./год,}$$

$$\Pi_4 = 107627 + 153988 + 1086 = 262701, \text{ у.е./год.}$$

### 6.2.6. РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

$$\mathcal{E}_r = \Delta Z - K_2 \cdot E_n,$$

$$\Delta Z = Z_1 - Z_2.$$

#### 6.2.6.1. Вариант решения "5"

Для реализации этого варианта потребуется организация заездного кармана для ОП МПТ эффективной длиной 40 м и шириной 2,5 м с переносом одной опоры линии освещения и уширением тротуара, а также установка на противоположной стороне улицы перильных ограждений на длине 150м. Используя данные табл. 20, определим стоимость капитальных вложений и дополнительных текущих затрат.

Таблица 22

#### Капитальные вложения и текущие затраты

Наименование	Размерность	Кол-во	Цена, у.е.	Стоимость, у.е.	$E_n$
1	2	3	4	5	6
Исследование и проектирование	—	—	—	250	0,12
Разборка тротуара	м <sup>2</sup>	100	0,03	3	0,12
Разборка бортового камня	м	50	0,27	13,5	0,12
Установка бортового камня	м	50	5,10	255	0,12
Устройство ПЧ	м <sup>2</sup>	100	6,00	600	0,12
Устройство тротуара	м <sup>2</sup>	100	2,45	245	0,12

1	2	3	4	5	6
Перенос опоры освещения (приравнен к установке транспортного светофора)	–	1	210	210	0,12
Приложение кабеля	м	50	1,80	90	0,12
Непредвиденные расходы	–	–	–	250	0,12
<b>Всего</b>	–	–	–	<b>1916,5</b>	<b>0,12</b>
Установка пешеходных перильных ограждений	м	150	3,10	465	0,15
<b>Итого капитальных вложений</b>	–	–	–	<b>2381,5</b>	–
<i>Текущие затраты (Z<sub>д</sub>)</i>					
Содержание дополнитель- ной ПЧ	м <sup>2</sup>	100	0,11	11	1

$$\Delta Z_5 = \Pi_c - (\Pi_5 + Z_{д5}) = 74003 - (71010 + 11) = 2982, \text{ у.е./год,}$$

$$K_5 \cdot E_{н5} = 1916,5 \cdot 0,12 + 465 \cdot 0,15 = 300 \text{ у.е./год,}$$

$$\mathcal{E}_{Г5} = 2982 - 300 = 2682 \text{ у.е./год,}$$

$$T_{OK5} = \frac{K_5}{\Delta Z_5} = \frac{2381,5}{2982} = 0,798 \text{ года или 9,6 месяца,}$$

$$E_5 = \frac{\Delta Z_5}{K_5} = \frac{2982}{2381,5} = 1,252.$$

#### 6.2.6.2. Вариант решения "4"

Для реализации этого варианта потребуется установка двух дорожных знаков ограничения скорости и усиление контроля за движением.

$$\Delta Z_4 = \Pi_c - (\Pi_4 + Z_{д4}) = 74003 - (262701 + 250) = -188948, \text{ у.е./год,}$$

$$K_4 = 25 \cdot 2 = 50 \text{ у.е. } E_{н} = 0,15 (\text{табл.20}),$$

$$Z_4 \approx 250 \text{ у.е./год},$$

$$K_4 \cdot E_{н4} = 50 \cdot 0,15 = 7,5 \text{ у.е./год},$$

$$\mathcal{E}_2 = -188948 - 7,5 = -188955, \text{ у.е./год}.$$

Поскольку экономический эффект отрицательный, то значения  $T_{OK4}$  и  $E_4$  не имеют физического смысла.

### 6.2.6.3. Оценка эффективности решений

Из двух сопоставляемых решений вариант "5" является, несомненно, лучшим.

В варианте "5" снижение суммарных потерь на 2982 у.е./год достигается за счет снижения аварийных потерь при неизменных экологических и экономических потерях. При капитальных вложениях 2381,5 у.е. аварийность уменьшится с 5 до 0,393 ав/год, или в 12,7 раза. Аварийные потери уменьшатся на 2993 у.е./год – с 3300 у.е./год до 307 у.е./год, или в 10,7 раза. Годовой экономический эффект составит 2682 у.е./год, срок окупаемости капиталовложений – 0,8 года. При этом на 1 у.е. капитальных вложений аварийные потери снижаются на 1,25 у.е./год.

В варианте "4" при капитальных вложениях 50 у.е. аварийность уменьшится с 5 до 1,22 ав/год, или в 4,1 раза. Аварийные потери уменьшатся на 2214 у.е./год – с 3300 у.е./год до 1086 у.е./год или в 3,04 раза. При этом, потери других видов **увеличатся** на 188948 у.е./год, или в 3,5 раза по сравнению с существующей ОДД. В результате, снижение аварийности на 1 у.е./год достигается за счет увеличения других видов потерь на 85 у.е./год.

Таким образом, снижение аварийности путем устройства заездного кармана для ОП МПТ и установки пешеходных ограждений на противоположной стороне улицы (вариант "5") весьма эффективно, окупается за 0,8 года, не приводит к повышению других видов потерь, дает заметный экономический эффект и поэтому **приемлемо**.

Снижение аварийности путем ограничения скорости (вариант "4") менее эффективно, приводит к значительному – в 3,5 раза (или на 177 тыс. у.е./год) – повышению экономических и экологических потерь и поэтому **неприемлемо**.

## Литература

1. Автомобильные перевозки и организация дорожного движения. Справочник./Пер. с англ. В.У. Ренкин [и др.]. – М.: Транспорт, 1981. – 592 с.
2. Аксенов, В.А., Попова, Е.П., Дивочкин, О.А. Экономическая эффективность рациональной организации дорожного движения. – М.: Транспорт, 1987. – 128 с.
3. Бабков, В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения. – М.: Транспорт, 1993.– 271 с.
4. Болбас, М.М., Пармон, Р.Я., Савич, Е.Л. Основы промышленной экологии: автомобильный транспорт. – Мн: Выш. школа, 1993. –235 с.
5. Буга, П.Г. Пешеходное движение в городах. – М.: Стройиздат, 1979. – 128 с.
6. Буга, П. Г., Шелков, Ю. Д. Организация пешеходного движения в городах. – М.: Высш. школа, 1980. – 232 с.
7. Васильев, А. П., Сиденко, В. М. Эксплуатация автомобильных дорог и организация дорожного движения. – М.: Транспорт, 1990. – 304 с.
8. Ваулин, Э. М., Юров, А. П. Теоретические и практические основы выявления и устранения топографических очагов дорожно-транспортных происшествий. – М.: Минавтотранс РСФСР, 1989.–107 с.
9. Воробьев, Э.М., Капский, Д.В., Кот, Е.Н. Рекомендации по разработке режимов светофорного регулирования на пешеходных переходах.// Сборник научных трудов «Проблемы создания информационных технологий» МАИТ (выпуск 12) под общ. ред. член-корр. НАН Беларуси Меньшина Г.Г. – М.: Технополиграф. центр, 2005. – 45-54 с.
10. Врубель, Ю.А. Организация дорожного движения. В 2 ч. частях. – Мн.: Белорусский фонд безопасности дорожного движения, 1996. – 634 с.
11. Врубель, Ю.А. Потери в дорожном движении. – Мн.: БНТУ, 2003. – 306 с.
12. Джонс, И.С. Влияние параметров автомобилей на ДТП./Пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1979. – 207 с.

13. Дрю, Д. теория транспортных потоков и управление ими./ Пер. с англ. – М.: Транспорт, 1972. – 424 с.
14. Дьяков, А.Б. Экологическая безопасность автомобиля. – М.: МАДИ, 1984.
15. Дьяков, А.Б. и др. Экологическая безопасность транспортных потоков. – М.: Транспорт, 1989. – 255 с.
16. Живоглядов, В.Г. Принципы оценки качества организации и управления дорожным движением // Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах: сборник докладов шестой международной конференции, СПбГАСУ. – СПб, 2004. – 222–227 с.
17. Зыков, И.В. Методы оценки конфликтных ситуаций на пересечениях дорог: дис....к-та техн. наук: 016,017 (д.62-95)–Омск, 1994.–136 с.
18. Иносэ, Х., Хамада, Т. Управление дорожным движением./ Пер. с англ. – М.: Транспорт, 1983. – 248 с.
19. Капитанов, В.Т., Хилажев, Е.Б. Управление транспортными потоками в городах. – М.: Транспорт, 1985. – 144 с.
20. Капский, Д.В. Прогнозирование аварийности на регулируемых конфликтных объектах // Безопасность дорожного движения Украины.– Киев: ГНИЦ БДД ДДПСММ МВС Украины. – 2005. – № 3 – 4 (21). – 78 – 88 с.
21. Капский, Д.В., Кот, Е.Н., Кухаренок, Г.М. Оценка опасности конфликтов «поворотный транспорт – пешеход» на регулируемых перекрестках. // Реконструкция городов. СПбГАСУ-2005: сборник докладов МНПК/В 2 ч. Ч.2. – СПб, 2005. – 157-159 с.
22. Математическое моделирование и оценка условий движения автомобилей и пешеходов./Кисляков, В.М. [и др.]. – М.: Транспорт, 1979. – 200 с.
23. Клеббельсберг, Дитер. Транспортная психология./Пер. с нем. – М.: Транспорт, 1989. – 367 с.
24. Клинковштейн, Г.И., Афанасьев, М.Б. Организация дорожного движения. – М.: Транспорт, 1997. – 231 с.
25. Кот, Е.Н. Исследование взаимодействия пешеходных и поворотных транспортных потоков методом конфликтных истуаций // Безопасность дорожного движения Украины.– Киев: ГНИЦ БДД ДДПСММ МВС Украины. – 2005. – № 3 – 4 (21). – 16 – 24 с.

26. Кот, Е.Н. Усовершенствованная модель взаимодействия пешеходного и поворотного транспортного потоков для определения экономических издержек движения. // Вестник БНТУ – 2004. – №3 – 5–8 с.

27. Кременец, Ю.А., Печерский, М.П., Афанасьев, М.Б. Технические средства регулирования дорожного движения. – М.: Транспорт, 2005. – 279 с.

28. Левитин, К.М. Безопасность движения автомобилей в условиях ограниченной видимости. – М.: Транспорт, 1979. – 112 с.

29. Лобанов, Е.М. Транспортная планировка городов – М.: Транспорт, 1990. – 240 с.

30. Лукин, В.А. Комплексная сравнительная оценка дорожных условий на аварийных участках дорог: Дис...к-та тех. наук: 61:95–5/1792–О. – М., 1994. – 216 с.

31. Лукьянов, В.В. Безопасность дорожного движения. – М.: Транспорт, 1978. – 247 с.

32. Автомобильный транспорт и защита окружающей среды. / Малов, Р.В. [и др.]. – М.: Транспорт, 1982. – 200 с.

33. Методические рекомендации по назначению мероприятий для повышения безопасности движения на участках концентрации дорожно-транспортных происшествий (Росавтодор от 30.03.2000 г. N 65-р) – М.: Информавтодор, 2000. – 63 с.

34. Организация движения. / Пер. с англ. Т.М. Метсон [и др.]. – М.: Автотрансиздат, 1960. – 463 с.

35. Михайлов, А.Ю. Влияние режима регулирования на поведение пешеходов // Безопасность дорожного движения: Тезисы НК, Таллин, 14–15 ноября 1990г. // Таллинский технический университет, МАДИИ. – Таллин, 1990. – 166–168 с.

36. Павлович, А.А. Анализ механизма взаимодействия конфликтующих транспортных потоков в одной светофорной фазе. – Мн.: 1994. – 8 с. – Деп. В ВИНТИ 22.04.94, № 607–В94.

37. Павлович, А.А. Методы повышения эффективности управления транспортными потоками на регулируемых пересечениях в городах: дис... канд. Техн. наук. – М.: МАДИИ, 1989. – 224 с.

38. Применение математических методов при прогнозировании дорожно-транспортной аварийности в городах. / Экспресс-информ. Сер.: Современное состояние и тенденции развития больших городов в СССР и за рубежом; Вып. 2/2. – М.: МГЦНТИ, 1985. – 6 с.

39. Рекомендации по обеспечению безопасности дорожного движения на участках концентрации ДТП на автомобильных дорогах общего пользования (утверждены приказом Комитета по автомобильным дорогам Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь №43 от 27.03.01г.).

40. Романов, А.Г. Дорожное движение в городах: закономерности и тенденции. – М.: Транспорт, 1984. – 80 с.

41. Сайдаминов, С.С. Основы охраны окружающей среды при эксплуатации мобильного транспорта. – Ташк.: Укитувчи, 1989. – 304 с.

42. Сильянов, В.В., Эльвик, Р., Боргер, А. Справочник по безопасности дорожного движения. – М.: Транспорт, 2001. – 754 с.

43. Сильянов, В.В. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог. – М.: Транспорт, 1984. – 287 с.

44. Транспорт и окружающая среда: материалы международного семинара. – Мн.:1995.

45. Указ Президента Республики Беларусь от 28 ноября 2005 года №551 «О мерах по повышению безопасности дорожного движения».

46. Факторович, А.А. Постников, Г.И. Защита городов от транспортного шума. – Киев.: Будівельник, 1982. –144 с.

47. Фишельсон, М. С. Городские пути сообщения. – М.: Высш. школа, 1980. – 296 с.

48. Снижение автотранспортного шума в городах./А.Я.Фоменко [и др.]. – Киев.: Техніка, 1979. – 104 с.

49. Чванов, В.В., Живописцев, И.Ф., Суханова, Е.Ю. Обзор зарубежных методов оценки социально-экономического ущерба от ДТП. Автомобильные дороги. – М.: Информавтодор., 2000.–35 с.

50. Шевяков, А.П. Организация движения на автомобильных магистралях. – М.: Транспорт, 1985. – 86 с.

51. Шештокас В. В., Самойлов Д. С. Конфликтные ситуации и безопасность движения в городах. – М.: Транспорт, 1987. – 207 с.

52. Эксплуатация автомобильных дорог и организация дорожного движения./Под ред. И. И. Леоновича. – Мн.: Выш. школа, 1988. – 348 с.

53. Elvik, R. To what extent can theory account for the findings of road safety evaluation studies? // Accident Analysis & Prevention, Volume 36, Issue 5, September – 2004, Pages 841-849.

54. Greibe, P. Accident prediction models for urban roads. // Accident Analysis & Prevention, Volume 35, Issue 2, March 2003, Pages 273-285.

55. Ludvigsen, H.S. Traffic Conflicts Experience in Denmark // TRRL Supplementary Report.– 1980.– № 557.– P. 107–114.

56. Zimolong, B., Gestalter, H. Gefahrenkognition bei Fahzeug-Fussgänger-Konflikten.// Zeitschrift für Verkehrssicherheit, – 1984.– №2, p. 62–66.

57. Taber J.T. MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION OF INTERSECTION AND ROADWAY ACCESS DESIGN. Principal Investigator, Utah Transportation Center: Utah State University, 1998. –78 pages.

58. Kelly, L., Zeedyk, M. S. Behavioural observations of adult-child pairs at pedestrian crossings. // Accident Analysis & Prevention, Volume 35, Issue 5, September – 2003, Pages 771-776.

59. Khaled, A. Abbas Traffic safety assessment and development of predictive models for accidents on rural roads in Egypt. // Accident Analysis & Prevention, Volume 36, Issue 2, March – 2004, Pages 149-163.

60. Klute, D.S., Lovallo, M.J., Tzilkowski, W.M. Autologistic regression modeling of American woodcock habitat use with spatially dependent data. In: Scott, J.M., Heglund, P.J., Morrison, M., Raphael, M., Haufler, J., Wall, B. (Eds.), Predicting Species Occurrences: Issues of Scale and Accuracy. Island Press, Washington., – 2002.

61. Kwok-suen Ng, Wing-tat Hung, Wing-gun Wong. An algorithm for assessing the risk of traffic accident. // Journal of Safety Research, Volume 33, Issue 3, 1 October – 2002, Pages 387-410.

62. Laadi, K., Laadi, M. Meteorologie et securite routiere/ /Presse therm. et clim.–1997.–№4– C. 269–274.

63. Lamm, R., Choueiri, E.M., Mailander, T. Accident rates on curves as influenced by highway design elements//An international review and an in-depth-study: Paper presented at the conference: "Road Safety in Europe"./ Swedish Road and Traffic Research Institute.–Gotheburg, Sweden, 12–14 October, – 1999.–P.37–54.

64. Lars L., Urho P. Application of a Quantitative Expert Judgment Model in Traffic Safety Analysis – Two Examples showing the Advantages and Possibilities with the Technique // Proceedings of the th6 Workshop of ICTCT./ International Cooperation on Theories and Concepts in Traffic Safety. – Prague, 26 -28 October, – 2001 – 12 p.

65. Larsen, L., Kines, P. Multidisciplinary in-depth investigations of head-on and left-turn road collisions. // *Accident Analysis & Prevention*, Volume 34, Issue 3, May – 2002, Pages 367-380.
66. Lazich, M. Investigation of Dangerous Section of "Black Points" on the Basic Road Network of the Serbia Proper and SAP Vojvodina/ / *International Highway Safety Conference*. -- Belgrade.--1981.-- October.-- P.769–780.
67. Lee, J., Mannering, F. Impact of roadside features on the frequency and severity of run-off-roadway accidents: an empirical analysis. *Accid. Anal.*, – 2002. – *Prev.* 34, 149–161.
68. Le Roux A. Les conducteurs anglais sont les plus prudents/ / *Vie rail*.–1997.–№2586.– C. 45.
69. Lord, D., Washington, S., Ivan, J. Statistical challenges with modeling motor vehicle crashes: understanding the implication of alternative approaches. In: *Proceedings of the 83rd Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Paper 04-3162, TRB. Washington, DC., – 2004.
70. Martin, J.-L. Relationship between crash rate and hourly traffic flow on interurban motorways. *Accid. Anal.*, – 2002. – *Prev.* 34, 619–629.
71. McCormick N.M. Reliability and risk analysis. *Methods and nuclear power applications* // Academic Press.: New York, 1981 – 446 p.
72. Noland, R.B. Traffic fatalities and injuries: the effect of changes in infrastructure and other trends. *Accid. Anal.*, 2003. – *Prev.* 35 (4) – P. 599–611.
73. Noland, R.B. The Effect of Infrastructure and Demographic Change on Traffic-related Fatalities and Crashes: A Case Study of Illinois County-level Data. Centre for Transport Studies Dept. of Civil & Environmental Engineering Imperial College London? – 2003. – London.
74. Risk Profile Bulletin: Profile of Safety Risk on Railtrack PLC-Controlled Infrastructure. // *Railway Safety* – 2001. Issue 2, RS, London. Somerset.
75. Safety Evaluation of Intelligent Transportation Systems Workshop Proceedings Sponsored by ITS America Safety and Human Factors Committee and the National Highway Traffic Safety Administration Reston, Virginia, May 1-2, – 1995, 259p.
76. Sanca M. Application of Design for Safer Urban Roads and Junctions: Selected Countermeasures LITH-ITN-KTS-EX--02/19—SE. Department of Science and Technology Linköping University Sweden – 2002. – 12 pages.

77. So Young Sohn and Sung Ho Lee. Data fusion, ensemble and clustering to improve the classification accuracy for the severity of road traffic accidents in Korea. //Safety Science, Volume 41, Issue 1, February 2003, Pages 1-14.

78. Wang Yin Hai. Estimating the Risk of Collisions between Bicycles and Motor Vehicles at Signalized Intersections. Department of Civil Engineering University of Washington p. 34. Wegman Fred. Fewer crashes and fewer casualties by safer roads Fewer crashes and fewer casualties by safer roads Contribution to the international symposium 'Halving Road Deaths' organized by the International Association of Traffic and Safety Sciences, November 28, 2003, Tokyo, 30p.

79. <http://www.trafficcalming.org/NECKDOWNS.html>

80. <http://www.walkinginfo.org/de/calm/raisedcrossing/index.htm>

81. <http://www.walkinginfo.org/de/calm/woonerf/index.htm>

82. Victoria Transport Policy Institute, Online TDM Encyclopedia: Evaluating. Safety and Health Impacts <http://www.vtpi.org/tdm/tdm58.htm>

## Оглавление

<b>Введение</b> .....	11
<b>Раздел 1. ПОТЕРИ В ДОРОЖНОМ ДВИЖЕНИИ</b> .....	13
Понятие о потерях в дорожном движении .....	13
Оценка качества дорожного движения .....	21
<b>Раздел 2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ</b> .....	26
Общие положения .....	26
Перечень исходных данных .....	26
Получение исходных данных .....	27
Интенсивность движения .....	28
Состав транспортного потока .....	29
Поток насыщения .....	30
Скорость движения .....	30
Градиент скорости .....	31
Параметры светофорного цикла .....	32
Интенсивность остановленных ТС при координации .....	32
Годовой фонд времени .....	33
Другие исходные данные .....	33
<b>Раздел 3. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ</b> .....	35
Задержки транспорта .....	41
Нерегулируемые конфликтные объекты .....	41
Нерегулируемые перекрестки .....	42
Главный левоповоротный поток .....	42
Главный правоповоротный поток .....	45
Главный разворотный поток .....	46
Второстепенный транзитный поток .....	46
Второстепенный левоповоротный поток .....	47
Второстепенный правоповоротный поток .....	47
Второстепенный разворотный поток .....	48
Совместное движение с одной полосы транзитных и поворотных потоков .....	48
Кольцевые перекрестки .....	49
Кольцевые перекрестки с регулированием по типу "кольцо главное" .....	49

Кольцевые перекрестки с регулированием	
по типу "отсутствие помехи справа" . . . . .	50
Пешеходные переходы . . . . .	51
Регулируемые конфликтные объекты . . . . .	51
Жесткое локальное регулирование . . . . .	51
Транзитное направление . . . . .	52
Конфликтный правый поворот . . . . .	53
Конфликтный левый поворот . . . . .	61
Конфликтный разворот . . . . .	66
Совместное движение с одной полосы транзитных	
и поворотных потоков . . . . .	67
Отнесенный левый поворот . . . . .	68
Вторые стоп-линии . . . . .	69
Отнесенные стоп-линии . . . . .	71
Перегрузка . . . . .	71
Адаптивное регулирование . . . . .	73
Адаптивное регулирование без изменения	
продолжительности светофорного цикла . . . . .	73
Адаптивное регулирование с изменением	
продолжительности светофорного цикла . . . . .	74
Координированное регулирование . . . . .	74
Линейные объекты . . . . .	75
Общее снижение скорости . . . . .	76
Кривые в плане на двухполосных дорогах . . . . .	76
Затяжной подъем на двухполосных дорогах . . . . .	76
Сужение полосы . . . . .	77
Запрещение обгона . . . . .	77
Транспортная нагрузка . . . . .	77
Перегрузка . . . . .	77
Смена полосы движения . . . . .	79
Обгон на двухполосных дорогах . . . . .	80
Линейные участки дороги . . . . .	80
Остановки транспорта . . . . .	81
Нерегулируемые конфликтные объекты . . . . .	82
Нерегулируемые перекрестки . . . . .	82

Кольцевые перекрестки . . . . .	83
Пешеходные переходы . . . . .	84
Регулируемые конфликтные объекты . . . . .	84
Жесткое локальное регулирование . . . . .	84
Транзитное направление . . . . .	84
Конфликтный правый поворот . . . . .	85
Конфликтный левый поворот . . . . .	86
Конфликтный разворот . . . . .	86
Совместное движение с одной полосы транзитных и поворотных потоков . . . . .	87
Отнесенный левый поворот . . . . .	87
Остановки на второй стоп-линии . . . . .	88
Отнесенные стоп-линии . . . . .	88
Перегрузка . . . . .	88
Адаптивное регулирование . . . . .	89
Адаптивное регулирование без изменения продолжительности светофорного цикла . . . . .	89
Адаптивное регулирование с изменением продолжительности светофорного цикла . . . . .	89
Координированное регулирование . . . . .	90
Линейные объекты . . . . .	90
Перегрузка . . . . .	90
Линейный участок дороги . . . . .	91
Перепробег транспорта . . . . .	91
Перерасход топлива . . . . .	91
Задержки пешеходов . . . . .	94
Нерегулируемые конфликтные объекты . . . . .	94
Регулируемые конфликтные объекты . . . . .	95
Пешеходные переходы с ПВУ . . . . .	96
Пешеходные переходы типа "Выбор" . . . . .	96
Перепроход пешеходов . . . . .	97
<b>Раздел 4. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ . . . . .</b>	<b>98</b>
Выбросы в атмосферу . . . . .	109
Линейные объекты . . . . .	109
Конфликтные объекты . . . . .	114

Транспортный шум . . . . .	118
Линейные объекты . . . . .	119
Конфликтные объекты . . . . .	122
<b>Раздел 5. АВАРИЙНЫЕ ПОТЕРИ . . . . .</b>	<b>124</b>
Расчет аварийных потерь . . . . .	160
Прогнозирование аварийных потерь . . . . .	160
Статистический метод . . . . .	170
Метод потенциальной опасности . . . . .	170
Исходные данные для расчета потенциальной опасности . . . . .	170
Методика прогнозирования аварийности в конфликте транспорт – транспорт на регулируемых перекрестках . . . . .	176
Определение потенциальной опасности нерегулируемого режима движения . . . . .	179
Определение потенциальной опасности внутрифазного режима движения . . . . .	190
Определение потенциальной опасности межфазного режима движения . . . . .	192
Метод прогнозирования аварийности в конфликте поворотный транспорт – пешеход на регулируемых перекрестках . . . . .	198
Метод конфликтных ситуаций . . . . .	204
<b>Раздел 6. РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВАРИАНТОВ ОРГАНИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ . . . . .</b>	<b>210</b>
Методики расчета . . . . .	210
Пример расчета потерь . . . . .	213
Исходные данные . . . . .	213
Расчет экономических потерь . . . . .	215
Потери от задержек транспорта . . . . .	215
Потери от перерасхода топлива . . . . .	215
Суммарные экономические потери . . . . .	217
Расчет экологических потерь . . . . .	217
Потери от выбросов в атмосферу . . . . .	217
Потери от транспортного шума . . . . .	221
Суммарные экологические потери . . . . .	223

Расчет аварийных потерь . . . . .	223
Существующая организация дорожного движения . . . . .	223
Прогнозируемая аварийность, вариант "4" . . . . .	223
Прогнозируемая аварийность, вариант "5" . . . . .	224
Снижение потерь от аварийности . . . . .	224
Суммарные потери в дорожном движении . . . . .	225
Расчет экономической эффективности . . . . .	225
Вариант решения "5" . . . . .	225
Вариант решения "4" . . . . .	226
Оценка эффективности решений . . . . .	227
<b>Литература</b> . . . . .	<b>228</b>

Научное издание

ВРУБЕЛЬ Юрий Андреевич  
КАПСКИЙ Денис Васильевич  
КОТ Евгений Николаевич

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ  
В ДОРОЖНОМ ДВИЖЕНИИ

Монография

Технический редактор М.И. Гриневич  
Компьютерная верстка О.В. Дубовик

---

Подписано в печать 28.04.2006.

Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 13,94. Уч.-изд. л. 10,9. Тираж 110. Заказ 488.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

ЛИ № 02330/0131627 от 01.04.2004.

220013, Минск, проспект Независимости, 65.