

Конструкции и методики,  
исключающие  
формирование пробок  
и  
заторов в условиях города

Низовцев Ю.М.

18+

# **Юрий Михайлович Низовцев Конструкции и методики, исключающие формирование пробок и заторов в условиях города**

*[http://www.litres.ru/pages/biblio\\_book/?art=24115993](http://www.litres.ru/pages/biblio_book/?art=24115993)  
SelfPub; 2018*

## **Аннотация**

Существующий в настоящее время подход к регулированию транспортных потоков при движении с повышенной плотностью не может решить проблему образования заторов и пробок в крупных городах всего мира. Выявление недостатков этого подхода дало возможность на основе известного способа регулирования транспортных потоков ramp metering разработать новые дорожные конструкции, а также новую методику, позволяющую практически исключить образование на магистралях заторов и пробок и повысить пропускную способность магистралей в 1,5 и более раз.

# Содержание

Введение.	5
Глава 1	13
Глава 2	40
Глава 3	100
Глава 4	125
Глава 5	185
Литература	211

Организация движения, исключая формирование пробок

(Технические решения обеспечивают безостановочное движение практически любого числа автомобилей на магистралях. Они характеризуются повышенной пропускной способностью и сравнительно низкими затратами)

# Введение.

В целом, всю стратегию местных властей крупных городов различных стран по борьбе с чрезмерной загруженностью дорог можно разделить на три взаимосвязанных блока. Во-первых, это меры, которые призваны стимулировать отказ от пользования личными автомобилями в пользу общественного транспорта. Во-вторых, создание эффективной инфраструктуры дорог для быстрого передвижения тех, кто пренебрег советами и сел за руль личного авто. В-третьих, разработка системы доступной каждому автомобилисту информации о ситуации на дорогах, которая позволяет объехать "пробки".

В различных городах используют разные методы для организации более-менее нормального движения. Их перечень, в основном, сводится к следующему: платный въезд, платные парковки, платные дороги, развитие сети общественного транспорта, автоматизированная система управления дорожным движением, которая регулирует работу светофоров, многоэтажные развязки, эстакады, выделение особых полос движения, различные ограничения и запреты, адаптивное сетевое управление транспортными и пешеходными потоками, спутниковая навигация, сотовые телефоны, компьютеры, датчики, прогнозирование пробок, круиз-контроль (нечто вроде несложного автопилота, поддерживающе-

го заданную скорость машины), строительство сети внеуличных скоростных магистралей, строительство объездов городов.

Понятно, что указанные выше меры упорядочения движения молчаливо признают неизбежность пробок и заторов во всех крупных городах мира и борются с пробками различными способами, значительная, и наиболее эффективная, часть которых сводится к запретам и ограничениям.

Бесперспективность в целом этой борьбы, на которую тратятся колоссальные средства, ясна из того, что парк автомобилей растет более высокими темпами, чем протяженность дорог. Иначе говоря, отказываться от личных автомобилей никто не желает, скорее, наоборот.

Кроме того, дороги и транспортные потоки подвержены воздействию климатических факторов. Поэтому дорожное полотно приходится систематически ремонтировать, а снежные заносы или ливни сами по себе сразу же приводят к возникновению пробок.

При этом громадное количество машин в пробках и заторах, выбрасывающих повышенный объем вредного выхлопа, наносит непоправимый ущерб здоровью людей и загрязняет атмосферу, не говоря о шуме.

Экономический ущерб от пробок и заторов, различных ограничений трафика, ненужных затрат с трудом поддается исчислению и составляет астрономические цифры.

Если не рассматривать различные экзотические и доро-

гостоящие способы решения автотранспортных проблем, то они сводятся, во-первых, к увеличению плотности дорожной сети по горизонтали путем строительства новых и расширения имеющихся дорог; во-вторых, строятся подземные трассы, туннели, то есть идет развитие по вертикали вниз; в-третьих, проводится строительство различных, в том числе и многоэтажных эстакад, то есть развитие по вертикали вверх.

Первый путь не может решить проблемы, так как прирост сети наземных дорог дорогостоящ, медленен и существенно отстает от прироста автомобилей. Хотя надо отметить, что сложившаяся в Нью-Йорке параллельно-квадратная система дорог позволяет объезжать образующиеся по каким-то причинам скопления автомобилей.

Второй путь – еще более трудоемок, дорогостоящ и может быть только вспомогательным.

Третий путь, как, например, в Токио или Нью-Йорке, во многом разгружает наземные трассы и сравнительно недорог, но проблему пробок не решает, так как в часы пик на тех же эстакадах, как и на наземных дорогах, образуются те же пробки по тем же причинам.

То же относится и к последней новинке немецкой фирмы StrassenHaus Ltd., которая предлагает проводить трассы для легковых автомобилей по крышам домов.

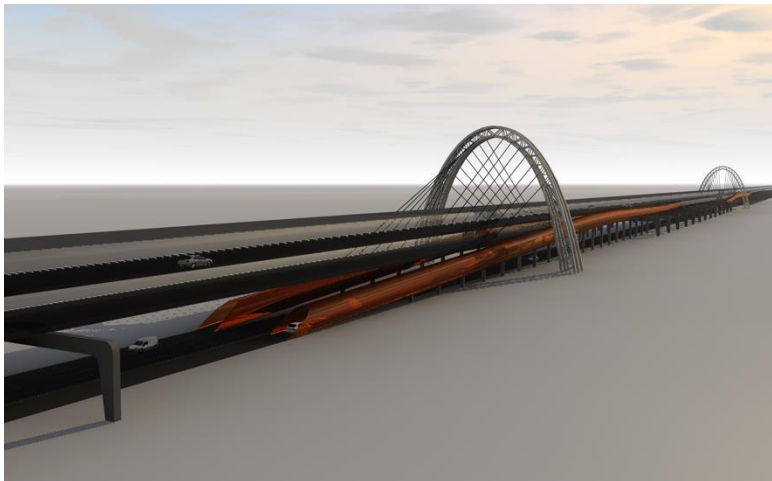
При этом отметим, что все три упомянутых способа весьма слабо влияют на пропускную способность автомагистралей.

Казалось бы, что если, опираясь на весь мировой опыт, невозможно найти техническое решение проблемы, то так ей и быть на уровне в основном административных решений.

На самом деле, решение проблемы можно найти только с помощью многократного увеличения пропускной способности магистралей, а также найдя способ не борьбы с пробками, а организации движения без возникновения пробок. Только как?

Оказывается, что решение может быть достаточно простым и недорогим, если удастся разработать конструкцию легких эстакад в несколько этажей с эффективной системой внутренних и/или внешних переездов с этажа на этаж с сохранением скоростного движения автомобилей в интервале 60 – 90 км/час. В этом случае автомобили даже при их большом числе легко перераспределяются по этажам с максимально возможной плотностью упаковки (пропускная способность четырехэтажной 14-полосной магистрали-эстакады составляет около 30000 автомобилей в час или 720000 автомобилей в сутки). Вероятность образования пробок так же сводится к минимуму, поскольку заблокированные полосы движения на том или ином этаже можно объехать по буферным полосам или по другим этажам.





Таким образом, этим решением являются надземные многоуровневые дорожные сооружения в виде магистралей-эстакад с переездами между этажами, то есть со связанными между собой уровнями, и с пропускной способностью в несколько раз выше, чем у действующих ныне магистралей. Кроме того, в этом новом дорожном сооружении на каждом этаже вводятся сквозные резервно-технические (буферные) полосы. Безостановочное движение установить затруднительно без этих буферных полос [1,2].

Оба этих нововведения (межэтажные переезды и буферные полосы) в совокупности, а также использование в случае неожиданной перегрузки магистрали известной методи-

ки контролируемого въезда «ramp metering» [3], обеспечивают непрерывное скоростное движение практически любого числа автомобилей в любое время суток, независимо от возникающих аварий или производящихся ремонтных работ.

Магистралы-эстакады могут быть установлены сначала на въездах-выездах крупных городов уже через год-два, если наладить производство типовых секций магистралей-эстакад из металлопроката.

Магистралы-эстакады также могут быть установлены, при радиально-кольцевой планировке города, по основным его радиусам и, далее, соединены в одном или нескольких местах кольцами, что создает единую магистральную сеть, подобную метрополитену, только для легковых автомобилей, делающую проезд по городу быстрым, без заторов и пробок, со свободным въездом в город и выездом из города [4].

Отдельные этажи или этаж сети магистралей-эстакад можно предоставить для движения малогабаритных автопоездов или электропоездов – надземного аналога метрополитена, тем самым, предоставив возможность людям без автомобилей быстро и недорого перемещаться, не спускаясь под землю, на значительные расстояния по городу, поскольку магистралы-эстакады могут быть установлены над всеми основными наземными и железнодорожными магистралями города [4].

Надо отметить также, что закрытая магистраль-эстакада не дает выхлопу выйти наружу, а воздух в эстакаде может

очищаться мощными нейтрализаторами, уже давно выпускаемыми промышленностью. Так же за пределы эстакады не выходит и шум. К тому же закрытое сверху и по бокам дорожное полотно не подвержено влиянию внешней среды и почти не изнашивается. Таким образом, как и у мостов, ресурс эстакады составляет более 100 лет.

На эстакадах также можно предусмотреть значительное число недорогих парковочных мест, в результате чего многие автомобили могут вообще не покидать эти сооружения.

Что касается стоимости, то, например, квадратный метр трассы StrassenHaus Ltd. стоит 1600 евро, тогда как квадратный метр рассматриваемой магистрали-эстакады из металлопроката с защитным покрытием (полосы движения также можно покрывать сталефибробетоном) стоит около 150 долларов, что более чем в десять раз дешевле. В целом, дешевле и их эксплуатация.

Кроме того, любая страна мира при внедрении проекта уже через два-три года может обойти все страны мира по автоматизации движения на магистралях, так как практически без затрат в замкнутом пространстве эстакады легко организуется движение без участия водителей, тогда как предполагается, что персональный быстрый транспорт (PRT), дорогостоящий и не слишком эффективный, будет масштабно внедрен только через десятки лет.

Проблема стоит того, чтобы рассмотреть возможности скорейшей реализации этой простой, надежной и эффектив-

ной формы дорожных сооружений с учетом того, что в среднем по опубликованным в прессе источникам ущерб от автомобильных пробок (2010г.) только в Москве за год составляет \$1,5 млрд. Подмосковье – \$4 млрд. за год, а в США – порядка \$80 млрд. за год.

Кроме того, система управления движением автомобилей по магистралям-эстакадам с использованием резервно-технических (буферных) полос и возможности контролировать (ограничивать) при необходимости въезд автомобилей на магистрали-эстакады для сохранения скоростного безостановочного движения может использоваться и на наземных автомагистралях в двух разных модификациях – на магистралях без светофоров (без перекрестков) [2,5] и на магистралях со светофорами (перекрестками) при организации движения автомобилей в последнем случае колоннами (пулами) [2,5]. Это повысит их пропускную способность в 1,5 – 2 раза.

Таким образом, проблема перемещения населения в мегаполисах может быть решена сравнительно быстро, просто и без колоссальных затрат, которые сейчас запланированы в дорожно-транспортной отрасли, но вряд ли будут продуктивными.

# Глава 1

Убытки от пробок на магистралях крупнейших городов мира. Их годовое значение. Оценка возможности существенного снижения этих убытков.

Констатация убытков от пробок, дорожно-транспортных происшествий (ДТП), загрязнения воздуха выхлопными газами на примере России. Способ их существенного снижения.

Прямые потери от заторов и пробок в России и способ их существенного снижения.

В 2011 году специалисты общественного центра "За безопасность российских дорог" подсчитали убытки от простоя автомобилей в ежедневных пробках в российских столицах. (Дополнительные издержки от пробок – помимо потерь времени и избыточного расхода бензина – связаны с нанесением вреда окружающей среде; ростом количества несчастных случаев на дорогах.).

Как оказалось, ежегодно из-за заторов на дорогах Москвы и Санкт-Петербурга теряется не один миллиард долларов (около \$2,5 миллиарда) и с каждым годом эта цифра растет. В среднем москвичи проводят в пробках 2,5 часа в день. Жители Северной столицы, по оценкам центра, тратят на пробки около двух часов в день. Ущерб, который наносит жи-

телям Калининграда плохая организация дорожного движения, оценивается в 10 миллиардов рублей. Из них 60 процентов приходятся на время, потраченное в пробках, перерасход топлива и износ автомобилей. Такие цифры озвучил председатель белорусской ассоциации экспертов и сюрвейеров Юрий Важник на конференции, посвященной разработке комплексной системы организации дорожного движения в Калининграде. При этом количество зарегистрированных автомобилей в Калининграде превышает численность зарегистрированных жителей (порядка 600 тысяч авто на 430 тысяч человек), а плотность автомобильных дорог в столице российского анклава в 10 раз выше, чем в среднем по России.

Для остальных 59 крупных городов России с населением не менее 300 тыс. человек, если экстраполировать приведенные выше цифры на каждый город с учетом его населения и насыщенности автомобилями, убытки от простоя автомобилей в пробках по каждому городу находятся в рамках от 1 до 5 млрд. рублей, или в среднем – 3 млрд. руб. Таким образом, можно считать, что общие убытки по 62 крупным городам России от автомобильных пробок составляют ежегодно порядка 250 млрд. руб. (\$8 млрд.).

Для сравнения отметим, что, как показало одно исследование, пробки на дорогах 75 крупнейших городов Соединенных Штатов наносят экономике этой страны ущерб примерно в 70 миллиардов долларов в год. ( [www.probudites.ru/](http://www.probudites.ru/)

При введении в эксплуатацию в крупнейших городах России многоуровневых, как минимум, двухэтажных магистралей-эстакад с переездами между этажами и организацией по ним безостановочного движения для проезда легковых автомобилей (90% всех автомобилей легковые) указанные потери, вследствие отсутствия в магистралях-эстакадах пробок и наличия безостановочного скоростного движения, а также проезда в них большей части всех автомобилей, существенно снизятся и составят не 250 млрд. руб. (\$8 млрд.), а величину, более чем в два раза ниже.

Для этого в крупных городах потребуется установить двухэтажные магистрали-эстакады следующей протяженности: в Москве – не менее 480 км, Петербурге – не менее 100 км, в других городах от 20 до 60 км, то есть в среднем порядка 3000 км. При себестоимости 1 км восьмиполосной двухэтажной магистрали-эстакады с верхним – парковочным – этажом и наличии в магистралях-эстакадах мощных очистных установок, в \$7 млн. себестоимость установки этих эстакад можно оценить в \$ 21 млрд.

Дело в том, что на магистралях-эстакадах обеспечивается безостановочное движение автомобилей (без возникновения заторов и пробок), независимо от возможных аварий или ремонта, благодаря объезду мест аварий по резервно-технической (буферной) полосе или переезду автомобилей на другие этажи по установленным на магистрали-эстакаде внешним

переездным участкам или по внутренним переездам, При этом скорость движения автомобилей контролируется и не снижается ниже установленного предела, например, 60 км/час.

Пробки на магистралях-эстакадах подобной конструкции не возникают, а пропускная способность при все время сохраняющимся скоростном режиме не менее 60 км/час обеспечивается для каждой полосы движения порядка 2000 автомобилей в час, что составляет для восьмиполосной магистрали-эстакады в совокупности 16 000 автомобилей в час (384 тыс. автомобилей в сутки).

При установке таких свайных надземных магистралей на основе металлопроката (в некоторых вариантах бетона или комбинации бетона и металлопроката) в 62 крупных городах России, значительная, если не большая часть легковых автомобилей, которые составляют порядка 90% от всех автомобилей, предпочтет перемещаться с высокой скоростью и безостановочно по магистралям-эстакадам, где пробки не возникают, а не по наземных магистралям и улицам, которые преимущественно займут грузовые, служебные автомобили и общественный транспорт.

Таким образом, прямые потери от пробок в крупных городах России можно снизить, как минимум, на 125 млрд. руб. (\$4,0 млрд.) – до 125 млрд. руб.

Если опираться на цифру ежегодных потерь от пробок в крупных городах России в \$8 млрд., затраты на строитель-



ство магистралей-эстакад в крупных городах (\$ 21млрд.) составят всего лишь в 2,5 раза больше величины снижения ежегодных потерь от пробок в этих городах.

Потери от ДТП по крупнейшим городам России и способ их существенного уменьшения.

Ежегодные прямые потери бюджетов различных уровней от смертности в ДТП по России составляют около 127 млрд. руб., заявил на совещании по безопасности движения в Санкт-Петербурге главный госавтоинспектор РФ Виктор Кирьянов. Причем эта цифра эквивалентна двум третям расходов федерального бюджета на стационарную медицинскую помощь.

За январь – июнь 2011 года в России произошло 79 623 автокатастрофы, в которых были пострадавшие: более 10000 погибших, более 100000 раненых. Больше всего людей погибло в Московской области, где жертвами ДТП в этом году стали 700 человек (за этот же период прошлого года погибли 643 человека). Благополучнее ситуация на дорогах Москвы, где из-за роста пробок снижается число погибших – 300 против 333 в прошлом году. Негативные тенденции сохраняются в Воронежской области, где за 6 месяцев погибли 192 человека, а также на Рязанщине (124 погибших). Серьезными темпами растет число жертв в Орловской (78 погибших – рост на 59,2%) и в Курской областях (107 погибших – рост на 46,6%). В Ленинградской области и Санкт-Петербурге ситуация находится примерно на прежнем уровне. В этом регио-

не за полгода погибли 366 человек (снижение на 0,08%). Почти на 9% увеличилось количество погибших в Северо-Кавказском округе, на дорогах которого за полгода погибли 804 человека. Растет число автокатастроф по вине дорожников. Так, из неудовлетворительного состояния дорог в этом году случилось 18749 ДТП, в которых 2652 человека погибли и еще 23853 остались калеками.

Если цифру погибших за первую половину 2011г. года в ДТП экстраполировать на год, то их число составит около 20 тыс. человек.

В настоящее время приходится констатировать, что в РФ нет закона, оценивающего человеческую жизнь в денежном эквиваленте. Тем не менее, в нижеследующем подсчете за основу можно принять некоторые данные о современных показателях стоимости и компенсационных ценах жизни человека в нашей стране и ряде зарубежных стран, известные из публикаций:

W. K. Viscusi, J.e. Aldy. The value of a life: a critical review of market... \

( [www.nber.org/papers/w9487](http://www.nber.org/papers/w9487) )

М. Гуриев. Мифы экономики: заблуждения и стереотипы, которые распространяют СМИ и политики. Изд. 3-е доп. и перераб. – М.: «АльпинаБизнесБукс», 2010. 296.\

В Российской Федерации максимальные выплаты по случаю гибели людей при исполнении служебных обязанностей предусмотрены для судей и работников правоохранитель-

ных органов – 180 среднемесячных должностных окладов (примерно 9,0 млн.руб., т.е. 300,0 тыс. долларов США. Для военнослужащих – 120 месячных должностных окладов. Известны расчёты, согласно которым компенсационная стоимость человеческой жизни для всех слоёв населения в России должна быть на уровне 165,0 средних по стране заработных плат, т.е. примерно 3,3 млн. руб. (чуть больше 100,0 тыс. долларов США). Адвокат И.Л. Трунов и его партнёры полагают, что в России жизнь человека должна оцениваться в 300,0 тыс. долларов США (в 9,0 с небольшим млн. руб.), т.е. по максимальным в настоящее время выплатам в стране. Проф. С.М. Гуриев считает, что рассматриваемый показатель для россиян должен составлять 2,0 млн. руб. (примерно 66,0 тыс. долларов США). Крупные авиакомпании страны и Московский метрополитен используют эту цифру на практике.

В США аналогичные показатели находятся в границах от 2,0 до 5,8 млн. долларов, но в исключительных случаях могут достигать 9,0 млн. долларов. В Германии, Франции и Индии – 1,0 млн. долларов США; в Испании – 400,0 тыс. долларов США. Средняя оценка стоимости жизни человека в других экономически состоятельных странах находится в пределах 250,0 – 300,0 тыс. долларов США.

В связи с вышеизложенным, примем в качестве компенсации за потерянную жизнь человека в России средний показатель из компенсационной стоимости человеческой жиз-

ни России, которая на практике лежит в пределах от \$ 66,0 тыс. до \$ 300 тыс., то есть \$180 тыс.

Вместе с тем, целесообразно сравнить полученную цифру с экономической ценностью жизни, которая определяется достаточно полно в работе Ревуцкого Л. Д. Стоимость, экономическая ценность, социальная ценность и цена жизни человека. Статьи и публикации. Управление персоналом.

( [www.kpilib.ru](http://www.kpilib.ru))

Экономическую ценность жизни достаточно полно можно охарактеризовать четырьмя ключевыми взаимосвязанными показателями:

– общей доходопроизводительностью человека по добавленной стоимости за весь период его экономически активной (трудовой) жизни (Джчс) в млн. руб.;

– общей доходопроизводительностью человека по чистому доходу за тот же период календарного времени (Джчд) в млн. руб.;

– общей прибылепроизводительностью человека по балансовой прибыли за тот же период календарного времени (Пжчб) в млн. руб.;

– общей прибылепроизводительностью человека по чистой прибыли за тот же период календарного времени (Пжчб) в млн. руб.;

По мнению автора целесообразно различать, рассматривать и сопоставлять фактические, плановые и нормативные значения этих показателей. Нормативное значение первого

из указанных показателей характеризует экономический потенциал человека за весь период его трудовой деятельности, а второго – общую экономическую ценность его трудовой жизни.

В предположении, что среднемесячный средневзвешенный за все годы трудовой деятельности условно-чистый доход, приносимый работодателю рассматриваемым выше человеком, т.е. показатель фактической среднемесячной добавленной стоимости, составлял 50 тыс. руб., а приносимая при этом прибыль до вычета налогов, сборов и процентов, т.е. соответствующая среднемесячная балансовая прибыль, достигала в месяц 10 тыс. руб. (при том же допущенном принципе осовременивания) получаем:

$$\text{Джчс} = 50,0 \times 12 \times 39 = 23,4 \text{ млн. руб.}$$

и

$$\text{Пжчб} = 10,0 \times 12 \times 39 = 4,68 \text{ млн.руб.}$$

Приведенный пример показывает ориентировочную величину (порядок цифр) рассматриваемых показателей экономической ценности жизни человека за все годы его трудовой деятельности (39 лет).

В частности, при приносимом трудящимся человеком среднемесячном средневзвешенном доходе (Джчс) 100 тыс. руб. и прибыли (Пжчб) 25 тыс. руб. в течении 45 лет трудовой жизни, величина рассматриваемых показателей составит:

$$\text{Джчс} = 100,0 \times 12 \times 45 = 54,0 \text{ млн. руб.}$$

и

$\text{Пжчб} = 25,0 \times 12 \times 45 = 13,5 \text{ млн. руб.}$

Аналогичным образом можно рассчитать величину показателей Джчс и Пжчб для любых конкретных людей. Конечно, желательно, чтобы при этом расчётчик-оценщик располагал действительными персональными ежегодными исходными данными для проведения таких расчётов.

Таким образом, прибыль (Пжчб), в среднем приносимая человеком за 45 лет трудовой жизни в России в размере 13,5 млн. руб. (\$450 тыс.) вполне сопоставима с полученной выше цифрой компенсации (\$180 тыс.), в среднем выплачиваемой в России при гибели человека, если учесть, что возраст погибающих в ДТП на дорогах России находится в пределах от нескольких лет до 60 лет, то есть время трудовой жизни в этом случае в среднем составляет 15-20 лет и соответственно прибыль, приносимая человеком (Пжчб) уменьшается примерно – до \$ 180-200тыс.

Финансовые потери от гибели граждан на дорогах России, более половины которых погибает в крупных городах, можно по городам так же оценить по принятой нами шкале в 10000 чел.  $\times$  5,4 млн. руб. = 54 млрд. рублей (\$1,8 млрд.), что согласуется с приведенной выше цифрой прямых потерь от ДТП в целом по РФ (127 млрд. руб.) главным госавтоинспектором РФ В. Кирияновым.

Городское население РФ составляет 73% от общей численности населения страны (см., напр., «Российская газе-

та» – Федеральный выпуск №5440 (64) на 2011 г. – около 53 млн. человек, или 37% населения.

Таким образом, финансовые потери от ДТП в 62 крупнейших городах РФ, составляющие примерно 20 млрд. руб. (\$0,67 млрд.), могут снизиться примерно в два раза при установке во всех этих городах с населением не меньше 300 тыс. в каждом над основными наземными магистралями многоуровневых магистралей-эстакад с переездами между этажами и организацией в них безостановочного движения большей части легковых автомобилей (90% всех автомобилей), и разделением тем самым на разных уровнях основных транспортных потоков и потоков пешеходов. Число погибших и пострадавших в ДТП на городских магистралях России в этом случае должно снизиться, по меньшей мере, вдвое.

Для этого в крупных городах потребуется установить, как минимум, двухэтажные восьмиполосные магистрали-эстакады следующей протяженности: в Москве – не менее 480 км, Петербурге – не менее 100 км, в других городах от 20 до 60 км, то есть в среднем порядка 3000 км. При себестоимости 1 км восьмиполосной двухэтажной магистрали-эстакады с верхним – парковочным – этажом в \$7 млн. себестоимость установки этих эстакад можно оценить в \$ 21 млрд.

3. Потери от загрязнения воздуха, который дает автомобильный выхлоп и способ их существенного снижения.

Далее, рассмотрим потери, связанные с нанесением вреда окружающей среде от ежедневных длительных заторов и

пробок, а также вообще от значительно выросшего объема автомобильного выхлопа на магистралях городов России. В Москве от загрязнения воздуха, 90% которого дает автомобильный выхлоп, умирает в год около 3500 человек.

По России подобной статистики не ведется. Однако по данным испанских ученых известно, что 225 тысяч человек в Европе умирают от заболеваний, вызванных выхлопными газами, причем известно также, что население Европы составляет около 500 млн. человек, а России – около 140 млн. человек, то есть в 3,5 раза меньше.

Если экстраполировать данные по этим жертвам на Россию, число автомобилей на дорогах которой в соотношении к числу жителей и учетом концентрации населения в крупных городах не намного ниже европейских, а нейтрализация вредных веществ из выхлопных газов намного хуже, чем в Европе, то в РФ должно умирать непосредственно от заболеваний, вызванных выхлопными газами не менее 64 тыс. человек в год.

Городское население РФ составляет 73% от общей численности населения страны (см., напр., «Российская газета» – Федеральный выпуск №5440 (64). 28.03.11г.), причем население крупнейших городов России (62 города с населением не менее 300 тыс.) на 2011 г. составляет около 53 млн. человек

Соответственно на 62 крупных города должно приходиться около 24 тысяч человек, умирающих ежегодно от болез-



ней, вызванных выхлопными газами.

Если по принятой нами шкале рассчитать финансовые потери от указанного числа экологических жертв выхлопных газов в городах России, то они составят  $24000 \times 5,6$  млн. руб. = 134,4 млрд. руб. (\$4,5 млрд.). И это без учета затрат на лечение не только в конце концов умерших, но и людей, вынужденных постоянно лечиться из-за ухудшения состава воздуха в городе, которое производится в основном выхлопными газами, причем число этих лечащихся многократно превышает число умерших. Наибольшее загрязнение выбросами от автотранспорта отмечается в Татарстане, Краснодарском и Ставропольском краях, Ростовской, Московской, Ленинградской, Нижегородской, Волгоградской областях. На долю автотранспорта в ряде регионов приходится свыше 50 % общего объема выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, в том числе, согласно данным Минздрава РФ, в Пензенской области – 70 %, в Санкт-Петербурге – 71 %, в Воронежской области – 77 %, в Краснодарском крае – 87 %, в Москве – 88 %. Оценки, выполненные для действующего парка автотранспортных средств, показывают, что в целом по России от автотранспорта ежегодно в атмосферу поступает 27 тыс. тонн бензола, 17,5 тыс. тонн формальдегида и 1,5 тонн бензапирена. Высокий процент автомобилей с карбюраторными двигателями, наряду с широким применением этилированного бензина на большей части территории России, обусловили загрязнение атмосферы соединениями

свинца.

Если большую часть движущихся автомобилей поместить в такие условия, при которых выхлопные газы немедленно нейтрализуются без попадания в воздух городов, то загрязнение воздуха крупных городов РФ можно было бы снизить более чем наполовину и тем самым уменьшить число жертв экологического загрязнения более чем в два раза, снизив тем самым и финансовые потери по этой составляющей более чем в два раза. При установке во всех крупных городах над их основными магистралями закрытых (экологически чистых) многоуровневых магистралей-эстакад с переездами между этажами и организацией в них безостановочного движения для легковых автомобилей, установленные на этажах эстакад мощные очистные установки (вытяжки с разрядниками), будут переводить выхлопной газ в нейтральные компоненты от всех автомобилей, находящихся в объеме эстакад без выхода его за пределы объема эстакады. Оболочка эстакады также исключает выход шума от автомобилей за пределы эстакады.

Таким образом, если следовать нашему финансовому подходу по подсчету экологических потерь от пробок, а также от неконтролируемого выхода в воздух выхлопных газов, то эти потери снизятся примерно в два раза – на \$2,25 млрд. В этом случае в городах потребуется установить экологически чистые магистрали-эстакады следующей протяженности: в Москве – не менее 480 км, Петербурге – не менее 100

км, в других городах – от 20 до 60 км, то есть в среднем – порядка 3000 км. При себестоимости 1 км восьмиполосной двухэтажной магистрали-эстакады с верхним – парковочным этажом в \$7 млн. себестоимость установки этих эстакад можно оценить в \$21 млрд. В результате, эта сумма окупится за счет годового снижения экологических потерь в численности населения по крупным городам России в его финансовом эквиваленте (\$2,25 млрд.) примерно за 9 лет. И это только одна составляющая эффективности действия экологически чистых многоуровневых магистралей-эстакад, которая так сильно может повлиять на здоровье нации, численность ее населения, экономику страны.

Ежегодные финансовые потери по крупнейшим городам России от пробок, гибели при ДТП на дорогах и ухудшения качества воздуха из-за автомобильного выхлопа.

Ежегодные потери по всем трем упомянутым основным составляющим в 62 крупных городах России таковы: во-первых, 250 млрд. руб. (\$8 млрд.) – прямые потери. В основном – это потеря времени на задержки в пробках и избыточный расход топлива. Во-вторых, это – финансовые потери от гибели граждан на магистралях крупных городов РФ – 54 млрд. рублей (\$0,67 млрд.). В-третьих, только нанесение вреда окружающей среде в виде 24000 умирающих каждый год в 62 крупнейших городах РФ непосредственно от повышенного содержания выхлопного газа от автомобилей в воздухе эквивалентно финансовым потерям в 134,4 млрд. руб-

лей (\$4,5млрд.).

Общую сумму потерь в крупных городах России можно представить, суммируя эти составляющие: 250 млрд. руб. + 20 млрд. руб. + 134,4 млрд. руб. = 404,4 млрд. рублей (\$13,2 млрд.).

Таким образом, строительство во всех крупнейших городах России экологически чистых, беспробочных магистралей-эстакад с повышенной пропускной способностью для легковых автомобилей, себестоимостью около \$21 млрд., «окупится», если сопоставлять его стоимость со снижением потерь от пробок и других указанных составляющих в крупнейших городах РФ (\$6,6 млрд.), даваемую этими магистралями-эстакадами, примерно за три года их действия. Без этого ежегодные потери от пробок, сопутствующих им несчастных случаев и ухудшения качества воздуха будут только расти.

Экономические потери от заторов и пробок на магистралях Нидерландов, потери от дорожно-транспортных происшествий, а также от загрязнения воздуха выхлопными газами.

1. Прямые потери от заторов, пробок. Способ их значительного снижения.

Дорожная сеть в Нидерландах, протяженность которой – 112 тысяч километров, как правило, перегружена в часы пик по рабочим дням. Борьба с пробками в Нидерландах затруднена еще и тем, что в густонаселенной стране не хватает ме-

ста для расширения дорожной сети.

Потери каждый год от заторов и пробок, а это в основном потери времени и топлива, составляют более 3 млрд. евро (\$4 млрд.).

Нидерланды в значительной степени является транзитной страной, из портов которой грузы расходятся дальше сухопутными трассами. Поэтому важно создать на этих трассах условия для безостановочного и беспробочного движения, не расширяя их, то есть без выкупа земли.

Предлагаемое конструкторское решение позволяет над основными трассами, пересекающими Нидерланды, или рядом с ними, как это сделано на Тайване, быстро установить, легкие двухэтажные магистрали-эстакады на стальном каркас (крытые сверху от дождя) с буферными полосами и переездами между этажами и организацией по ним безостановочного движения для проезда легковых автомобилей, оставив наземные магистрали для проезда грузового транспорта.

В этом случае кроме наземного уровня автобана появятся еще два уровня магистрали-эстакады, что обеспечит в несколько раз более высокую пропускную способность трасс. Буферные полосы и межэтажные переезды на магистралях-эстакадах обеспечат безостановочное и беспробочное движение по ним автомобилей, причем специфика конструкции магистрали-эстакады и ее дорожного покрытия делают возможным проведение на ней ремонтных работ без остановки движения автомобилей, так как оно производит-

ся по другим уровням эстакады. Кроме того, регулярные въезды и съезды, смонтированные на магистралях-эстакадах с необходимыми интервалами в зависимости от местности, позволяют автомобилям въезжать на них или съезжать с них там, где возникает такая потребность, в отличие от наземных автобанов. И это никак не влияет на скорость перемещения автомобилей по полосам движения магистрали-эстакады. Кроме того, конструкция магистралей-эстакад позволяет автомобилям ехать по ним без участия водителей по соответствующей компьютерной программе практически любое расстояние. Если закрыть магистрали-эстакады не только сверху, но и по бокам и установить в образовавшемся объеме вытяжки с разрядниками, переводящими вредный выхлоп в нейтральные компоненты, то дорожное сооружение становится экологически чистым. Металлические магистрали-эстакады быстро монтируются (несколько месяцев) из заранее подготовленных стандартных блоков и элементов и могут эксплуатироваться без капитального ремонта более 50 лет.

Протяженность этих магистралей-эстакад и их пропускная способность должна быть достаточна для проезда легковых автомобилей по основным направлениям страны, что легко может быть предусмотрено из расчета имеющегося и прогнозируемого трафика.

Если установить 1500 километров таких, практически не занимающих наземные площади, надземных магистралей,

то при наличии в магистралях-эстакадах мощных очистных установок себестоимость 1 км восьмиполосной двухэтажной магистрали-эстакады составит \$7 млн., себестоимость установки этих закрытых, экологически чистых, беспробочных магистралей-эстакад с повышенной пропускной способностью можно оценить в \$10,5млрд. Эффективность магистралей-эстакад объясняется обеспечением ими безостановочного движения автомобилей (без возникновения заторов и пробок), независимо от возможных аварий или ремонта, благодаря объезду мест аварий по резервно-технической (буферной) полосе или переезду автомобилей на другие этажи по установленным на магистрали-эстакаде внешним переездным участкам или по внутренним переездам. При этом скорость движения автомобилей контролируется и не падает ниже установленного предела, например, 60 км/час. Пробки на магистралях-эстакадах подобной конструкции не возникают, а пропускная способность при все время сохраняющимся скоростном режиме не менее 60 км/час обеспечивает для каждой полосы движения порядка 2000 автомобилей в час, что составляет для восьмиполосной магистрали-эстакады в совокупности 16 000 автомобилей в час (384 тыс. автомобилей в сутки).

При установке таких надземных магистралей на основе металлопроката (в некоторых вариантах бетона или комбинации бетона и металлопроката), на всех основных автомагистралях страны большая часть легковых автомобилей

предпочтет проезжать с высокой скоростью и безостановочно по магистралям-эстакадам, где пробки не возникают.

Таким образом, указанную величину прямые потери от пробок в Нидерландах можно снизить, как минимум, до \$2 млрд.

2. Потери от ДТП и способ их существенного уменьшения.

В среднем ежегодное число жертв ДТП в Нидерландах в последние годы составляет: погибших – 700, раненых – 27 тыс.

( [www.demoscope.ru/weekly/2011/0485/biblio01.php](http://www.demoscope.ru/weekly/2011/0485/biblio01.php) )

Около 2% ВВП (\$800млрд. в 2010г.) страны составляют в настоящее время потери от ДТП – приблизительно \$16 млрд.

( [www.swov.nl/rapport/Factsheets/UK/FS\\_Cost.](http://www.swov.nl/rapport/Factsheets/UK/FS_Cost.) )

При установке в стране над ее основными наземными магистралями многоуровневых магистралей-эстакад с переездами между этажами и организацией в них безостановочного движения большей части легковых автомобилей (90% всех автомобилей), и разделением тем самым на разных уровнях основных транспортных потоков и потоков пешеходов, а также оснащении магистралей-эстакад специальным оборудованием (регулярно установленные противопожарные системы, системы вентиляция, резервные сходы и съезды, системы наблюдения, компьютерное управление движением, контролируемый въезд на полосы движения) для максимальной безопасности, число финансовых потерь от ДТП долж-



но уменьшиться, по меньшей мере, вдвое – до примерно \$8 млрд.

Для этого потребуется установить, как минимум, двухэтажные восьмиполосные магистрали-эстакады общей протяженностью 1500 тыс. км. При затратах на установку 1 км восьмиполосной двухэтажной магистрали-эстакады в \$7 млн. стоимость установки этих эстакад можно оценить в \$10,5 млрд.

3. Потери от загрязнения воздуха, который дает автомобильный выхлоп и способ их существенного снижения.

Экологические издержки от заторов и пробок, а также дорожно-транспортных происшествий оцениваются примерно в \$10 млрд.

( [www.swov.nl/rapport/Factsheets/UK/FS\\_Costs](http://www.swov.nl/rapport/Factsheets/UK/FS_Costs). )

Для борьбы с вредными выхлопными газами от автомобилей используются всего лишь нейтрализаторы, которые не могут гарантированно ликвидировать все вредные составляющие выхлопного газа, да и не на всех автомобилях они используются. Для крупных городов появился даже термин «издержки от дорожных пробок» (congestion cost), под которым имеются в виду потери времени, загрязнение атмосферного воздуха и воды, шумовая нагрузка, а также уничтожение зеленых насаждений. Крупные города уже давно ищут выход из этой ситуации, но ничего лучшего, как плата за въезд в центральные районы городов, повышение налогов на автомобили, расширение транспортной сети, насколько это

возможно в рамках плотной застройки городов и т. п. придумано не было. Степень загрязнения воздуха выхлопными газами от автомобилей, 90% которых являются легковыми, колеблется для крупных городов от 60 до 90 процентов. Экологически чистые электромобили, в силу своей дороговизны и отсутствия сети их обслуживания еще не скоро вытеснят автомобили с двигателем внутреннего сгорания. Однако проблему надо решать.

На наш взгляд, решением этой проблемы в значительной степени является перевод, по крайней мере, легковых автомобилей для движения с высокой скоростью в сети экологически чистых и недорогих многоуровневых (2-3 уровня) магистралей-эстакад на основе металлопроката, чрезвычайно надежных и быстро возводимых. Если их закрыть по бокам и сверху, а в получившемся объеме установить необходимое количество вытяжек с разрядниками, переводящими вредные составляющие выхлопного газа в нейтральные компоненты, то большая часть легковых автомобилей для своего быстрого (без пробок и заторов благодаря специальной конструкции магистралей-эстакад) и экономичного перемещения будет использовать в основном именно их.

Для городов в магистрали-эстакады можно добавить верхний уровень для парковки автомобилей, что несколько удорожит сооружение, но зато благодаря этому значительная часть легковых автомобилей может вообще не покидать магистрали-эстакады, проезжая только по ним и паркуясь толь-

ко на них.

Таким образом, если большая часть легковых автомобилей будет перемещаться по многоуровневым магистральям-эстакадам, то выхлопной газ от них будет практически полностью нейтрализован и не попадет в атмосферу, как и шум. То есть более половины вредного выхлопного газа будет исключена из оборота.

При установке во всех крупных городах над их основными магистралями закрытых (экологически чистых) многоуровневых магистралей-эстакад с переездами между этажами и организацией в них безостановочного движения для легковых автомобилей, установленные на этажах эстакад мощные очистные установки (вытяжки с разрядниками), будут переводить выхлопной газ в нейтральные компоненты от всех автомобилей, находящихся в объеме эстакад без выхода его за пределы объема эстакады. Оболочка эстакады также исключает выход шума от автомобилей за пределы эстакады.

Таким образом, доля расходов, компенсирующая ущерб от гибели людей по причине болезней, вызванных вредными составляющими выхлопных газов автомобилей, снизится примерно в два раза и составит порядка \$ 5 млрд.

Ежегодные суммарные финансовые потери от пробок, ДТП на магистралях и ухудшения качества воздуха из-за автомобильного выхлопа.

Ежегодные потери в Нидерландах по трем упомянутым составляющим таковы: во-первых, \$ 4 млрд. – прямые поте-

ри, в основном это потеря времени на задержки в пробках и избыточный расход топлива; во-вторых, финансовые потери при ДТП – \$16 млрд.; в-третьих, ежегодная компенсация ущерба, связанного с гибелью людей по причине болезней, вызванных вредными составляющими выхлопных газов автомобилей в размере \$10млрд.

Общую сумму потерь по всем трем указанным составляющим можно представить в виде: \$4 млрд. + \$16млрд. + \$10млрд. = \$30 млрд.

Таким образом, строительство экологически чистых, беспробочных магистралей-эстакад с повышенной пропускной способностью для легковых автомобилей, стоимостью около \$10,5 млрд., «окупится», если сопоставлять его со снижением потерь от пробок и других указанных составляющих в Нидерландах (\$15 млрд.), даваемую этими магистральями-эстакадами, за 0,7 года их действия. Без этого ежегодные потери от пробок, сопутствующих им несчастных случаев и ухудшения качества воздуха будут только расти.

Убытки по 404 крупнейшим городам 11 стран мира, их снижение за счет установки новых дорожных сооружений с организацией на них безостановочного движения транспорта, расходы на их установку и оценка сроков их окупаемости.

Аналогичным образом нами рассчитаны убытки и по другим крупнейшим городам мира (всего 11 стран мира).

Для сравнения убытков по трем указанным составляю-



Бразилия 40	90	8,3	2,5	101	4000	28,0	50,5	0,6
Германия 12	20	6,0	25,2	51,2	200	8,4	25,6	0,4
Канада 10	10	10,0	6,0	26	1000	7,0	13,0	0,5
Китай 62	50	14,0	50,0	114	12400	87,0	57,0	1,5
Корея 35	26	2,8	1,2	30	3900	27,3	17,5	1,5
Мексика 40	33	3,7	1,7	38	3370	22,6	19,2	1,1
Нидерланды. 12	4	16,0	10,0	30	1500	10,5	15,0	0,7
Россия. 62	8	0,7	4,5	13,2	3000	21,0	6,623,1	3,0
США. 75	70	41,6	30,4	142	12000	84,0	71,0	1,2
Украина 21	6	1,7	1,2	9	1800	12,6	4,0	3,1
Япония. 35	35	5,2	8,9	49	3900	27,3	25,0	1,1
404 гор. Итого:	352	110	141	603	48070	335,7	320,9	1,3

Из таблицы видно, сколь значимы потери, возникающие при отставании роста транспортной сети от роста продаж автомобилей даже в самых развитых странах мира. Следует отметить, что общие потери за год составляют по 404 крупным городам мира 11 стран \$603 миллиарда, а срок окупае-

мости надземных сооружений в этих городах, обеспечивающих безостановочное движение практически любого числа автомобилей составляет только 1,2 года. Становится также понятным, что решение проблемы находится в увеличении пропускной способности магистралей в соответствии с ростом числа автомобилей и создании возможности для движения транспортных потоков без возникновения пробок.

Разработанная конструкция нового многоуровневого дорожного сооружения на стальном каркасе с межэтажными переездами и буферными полосами может соответствовать практически любому числу автомобилей, которые выезжают на магистрали, и вместе с тем обладает свойством беспробочности. Это сооружение надежно, эффективно, недорого и быстро возводимо. Поскольку по нему в городских условиях сможет проезжать большая часть легковых автомобилей (90% всех автомобилей), постольку основные транспортные убытки могут быть снижены более чем в два раза.

Из таблицы также видно, что если сопоставлять стоимость установки магистралей-эстакад со снижением в результате их действия транспортных убытков, то магистрали-эстакады окупаются в среднем всего лишь за год.

## Глава 2

Двухуровневая надземная магистраль для безостановочного движения транспортных средств с парковочными площадками. Экономическая оценка.

Отметим сначала, что одноуровневые эстакады и путепроводы (мосты) на перегруженных трассах, что характерно для крупных городов, не обеспечивают безостановочное скоростное движение автомобилей, особенно в часы пик, они громоздки, так как строятся из бетона, дороги, и их строительство затягивается на годы.

Мэрии крупных городов России, как и других стран, также пытаются, но пока безуспешно, решить проблему пробок, приводящих ежедневно к астрономическим убыткам. Кроме того, магистрали городов, в частности, и из-за скопления стоящих пробок автомобилей вносят значительный вклад в загрязнение атмосферы городов выхлопным газом.

В Москве и большинстве других мегаполисов отсутствует дешевое надземное метро.

Крупные города, регионы, различные страны до сих пор не связаны недорогими компактными надземными транспортными коридорами, в которых установлены, как минимум, двухуровневые свайные комбинированные эстакады, в едином объеме которых размещаются железнодорожные ко-



леи, полосы движения автомобилей, трубопроводы, линии связи и другие навески. Подобные недорогие, надежные и эффективные дорожные сооружения могли бы обеспечивать безостановочное перемещение транспорта и соответственно в десятки раз более дешевую доставку грузов, упакованных в контейнеры.

Нами предложено своевременное, простое и недорогое решение указанных транспортных проблем, основной особенностью которого является организация безостановочного движения поездов, автомобилей, различных сред и т.д. в одном компактном пространстве, в виде нижеописанных вкратце надежных двухуровневых дорожных свайных надземных сооружений, которые к тому же быстро собираются на стальном каркасе.

Главным отличием новых, экологически чистых дорожных сооружений – закрытых двухэтажных эстакад на стальном каркасе и со стальными пролетными участками, покрытыми сталефибробетоном, сохраняющих скоростной, например 60-100 км/час, режим для автомобилей, предпочтительно легковых, за счет использования усовершенствованной методики «ramp metering»., – является их в разы большая пропускная способность, способность без пробок и заторов проводить транспортные потоки, способность отделять основной поток грузового и пассажирского транспорта от основных потоков легковых автомобилей и тем самым обеспечивать быстрое и безостановочное перемещение транс-

порта. Технически эта проблема решается переездами между этажами, буферными (резервно-техническими) полосами, въездными светофорами, управляемыми радарными. Вместе с тем полоса движения здесь в 2-4 раза ниже по себестоимости (\$0,6-0,9млн. на 1 км) полосы движения наземной магистрали (известные, по данным Минтранса РФ, средние затраты на строительство 1 км наземной магистрали в США составляют \$2 млн., в Германии – \$4 млн., Франции – более \$3 млн., России – \$1,5 млн.).

На действующих надземных многоуровневых эстакадах автомобили не могут переехать с одного уровня на другой, если один уровень перегружен, а другие или другой свободны. Однако разве отсутствует возможность связать эти уровни!?

Число полос движения и их пропускная способность не согласованы с возможным пиком въезжающих на эстакады автомобилей. Но практически любое число автомобилей можно пропустить по автомагистрали при достаточном для них числе полос движения и соответственно достаточной пропускной способности.

Однако, как известно, пропускная способность падает в несколько раз с образованием заторов при неконтролируемом массовом въезде автомобилей на магистраль. Тем не менее, что мешает в этом случае сделать въезд контролируемым!?

Как известно, любая авария на магистрали означает, как

правило, снижение пропускной способности трассы, образование заторов или даже пробок. Это всего лишь означает, что надо придумать способ объезда этих мест не где-то далеко, а на той же магистрали.

Стандарты позволяют использовать при строительстве мостов и эстакад стальные конструкции, причем на строительстве небоскребов проверено, что сравнительно легкий стальной каркас может надежно удерживать многократно превышающий его собственную массу груз. Поэтому можно на стальных вертикальных опорах-трубах смонтировать несколько уровней из стальных продольных и поперечных балок – тавровых или двутавровых, накрыв их пролетными участками из сравнительно тонких стальных листов, на которые в свою очередь наносится дорожное покрытие из разрешенных стандартами материалов, например, сравнительно тонкий слой сталефибробетона. Сверху эта простая, надежная и легкая конструкция может быть закрыта от снега или дождя легким негорючим пластиком. Подобное сооружение может быть быстро установлено при наличии готовых блоков и элементов свинчиванием с минимумом сварки. Быстрота установки означает не только экономию времени, но и минимум затрат. Поэтому сооружение по себестоимости, несмотря на то, что бетон дешевле стали, оказывается ниже, чем действующие наземные и надземные дорожные сооружения и им могут быть быстро и недорого «накрыты» все основные городские и междугородние перегруженные автотрассы, а в

некоторых случаях и железнодорожные линии.

Для образования единого поля связанных между собой на разных уровнях полос движения нами предложено несколько вариантов переездов с одного уровня на другой – как внутренних, так и внешних. Это позволяет автомобилям на скорости быстро распределяться по всем многочисленным полосам движения конструкции, используя на максимум пропускную способность всех этих полос. Например, двухуровневая конструкция обеспечивает без возникновения заторов и пробок (4-е полосы движения плюс две буферные полосы на первом уровне и столько же на втором) пропускную способность до 16 тысяч автомобилей в час и безостановочное движение автомобилей при скорости не менее 40 (60) км/час.

Число уровней и соответственно полос движения при установке магистрали-эстакады может быть запроектировано на известный максимум транспортных потоков, что не позволяет ей забиваться автомобилями даже в часы пик.

Для того чтобы скорость движения автомобилей на магистрали-эстакаде не падала ниже установленного предела (40 или 60 км/час), что означает использование пропускной способности полос движения, близкой к максимально возможной, на въездах устанавливаются светофоры, срабатывающие на запрещающий въезд сигнал тогда, когда скорость автомобилей на магистрали-эстакаде по любым причинам падает ниже установленного предела. Это обеспечивает сво-

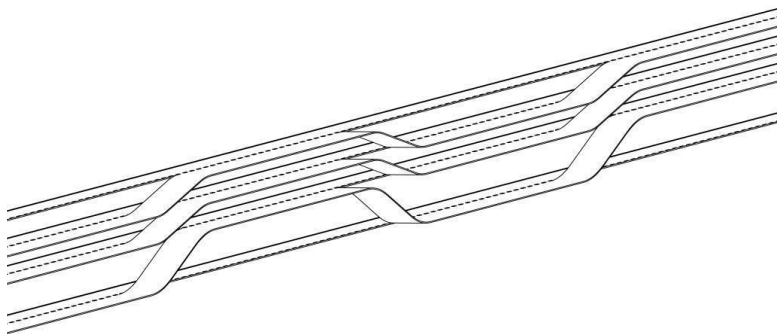
бодное движение автомобилей без превращения его в синхронизированный транспортный поток, который при скорости 10-15 км/час превращается в затор.

Для того чтобы аварии, ремонт и тому подобное на трассе практически не влияли на скорость транспортного потока, то есть для того, чтобы сделать его безостановочным и скоростным и в этом случае, нами предложено два элемента конструкции: во-первых, указанные выше межэтажные переезды можно использовать для перемещения автомобилей с перегороженного аварийей этажа на свободный этаж или на наземный уровень, во-вторых, на каждом уровне с краю вводится буферная (резервно-техническая) полоса, предназначенная только для объезда мест аварий или ремонта, а также для въезда на полосы движения или съезда с полос движения. Некоторое удорожание конструкции за счет добавления к ней межэтажных переездов и буферных полос многократно компенсируется ее беспробочностью.

Ниже показано, как автомобили могут поступательно перемещаться по эстакаде благодаря применению волнообразной уплощенной полосы движения, которая одним своим уплощением смыкается на одном своем уровне с гладкой одноуровневой полосой движения одного этажа, а следующим своим уплощением смыкается на другом уровне с гладкой одноуровневой полосой движения другого этажа.

Использование объемной эстакады только для легкового транспорта делает ее легкой и недорогой. Использование за-

водских типовых секций делает ее быстро сборной (разборной) и переносной. Ее этажность может уменьшаться и увеличиваться, соответственно и пропускная способность так же может меняться до 90 тысяч автомобилей в час.



В силу того, что пропускная способность полосы движения зависит от скорости потока и ее максимальное значение с незначительными отклонениями лежит в области 30-100 км/час, нами предложено удерживать скорость потока именно внутри этого интервала скоростей.

Кроме того, при этих скоростях на городских магистралях, где автомобили часто меняют полосы движения, транспортный поток является разреженным, то есть он находит-

ся в состоянии потока свободных частиц, при котором автомобили имеют возможность маневрировать. Правда, при этом пропускная способность в расчете на одну полосу движения с теоретически возможной (3000 тысячи автомобилей в час для синхронизированного потока) падает до 2000 автомобилей в час. Подобная процедура удерживания потока внутри указанного интервала скорости и, значит, соответствующей плотности, производится как на эстакадах, так и на действующих магистралях по принципу контролируемого въезда, предложенного в США более 40 лет назад (ramp metering). В результате, транспортный поток не уплотняется и его скорость не падает до 10-15 км/час, когда появляются заторы, а за ними пробки. Иначе говоря, предлагается не бороться с пробками разными способами, на что сейчас совершенно бесполезно тратятся астрономические суммы, а следует придерживаться режима свободного потока, при котором заторы не возникают и не забывать про организацию объезда мест аварий.

Однако американская методика имеет тот недостаток, что действует локально, и поэтому в США, так же как и у нас, проблема пробок актуальна, а ежегодные потери от них достигают \$80 млрд.

Мы же, во избежание торможения потока, в дополнение к контролируемому въезду (ramp metering) предложили ввести сквозную буферную полосу с правого края по движению на магистрали, решив сразу несколько проблем:

а) поток не тормозится въезжающими на магистраль или съезжающими с нее через буферную полосу автомобилями, так как буферная полоса предназначена не для движения автомобилей, а является резервно-технической (предназначена для въезда-съезда автомобилей и объезда ими мест аварий или ремонта), и автомобили после въезда на нее и соответствующего разгона спокойно вклиниваются в разреженный поток автомобилей на полосах движения; точно так же перед съездом с магистрали, автомобили, не снижая скорости, и, значит, не тормозя поток, переезжают на буферную полосу с тем, чтобы спокойно съехать с нее на боковую дорогу или улицу;

б) при ДТП на полосах движения, которых при одностороннем движении на магистралях, как правило, от трех до пяти, пустая буферная полоса в редких случаях перегорается автомобилями. Поэтому по ней, а также по оставшимся не затронутыми аварией другим полосам автомобили могут продолжать движение, причем скорость потока удастся сохранить даже в случае ДТП не менее установленного предела, например 60 км/час, за счет автоматического включения запрещающих въезд светофоров (временного запрета въезда на магистраль до восстановления скорости потока близкой к максимальной) на предшествующих месту аварии въездных участках; на сравнительно узких магистралях-эстакадах (две полосы движения в одну сторону) для страховки кроме буферных полос смонтированы или введены регу-



лярные межэтажные переезды – так что при возможной блокировке буферной полосы можно загодя переехать на другой этаж эстакады или съехать на наземный уровень, избежав тем самым возникновения затора.

Подобных мер до сих пор нигде не предпринималось, вследствие чего поток уплотнялся со всеми вытекающими из этого последствиями (заторы, пробки, аварии). А при ежедневной перегрузке магистралей в часы пик в крупных городах поток уплотняется всегда.

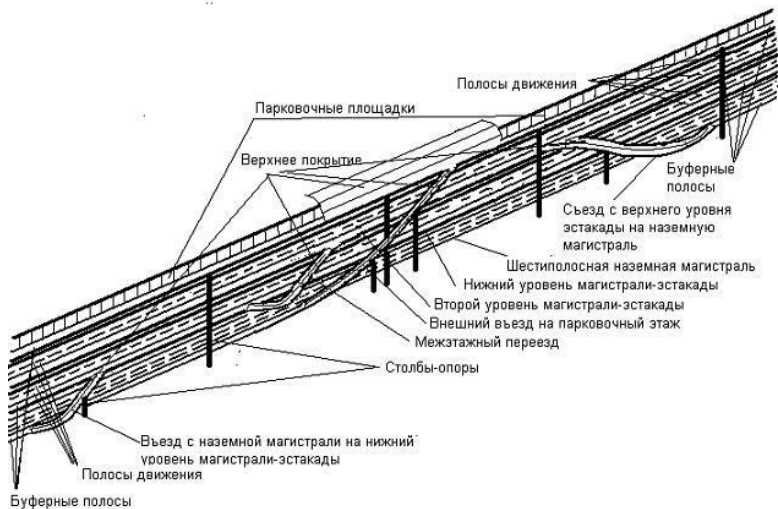
Что касается вопросов оповещения, маршрутизации, то они давно решены и их можно просто заимствовать, так же как те или иные варианты движения без участия водителей, что действительно удобно делать в ограниченных пределах эстакады-магистрали.

Перегрузка магистрали не возникнет, если пропускная способность магистрали будет достаточна для практически любых транспортных потоков и, в частности, будет не менее, чем число автомобилей, стремящихся на магистраль в часы пик. Однако в часы пик число автомобилей, стремящихся на действующие сейчас магистрали, превышает возможности ее полос движения часто в несколько раз. Отсюда быстрое уплотнение потока и возникновение заторов и пробок.

Поэтому нами предложено, во-первых, максимально использовать возможности каждой полосы движения на действующих магистралях, переведя их в режим безостановочного движения с пропускной способностью в среднем на ма-

гистралях без перекрестков 2000 автомобилей в час на полосу и 1250 автомобилей в час на полосу движения на магистралях с перекрестками, тогда как сейчас на магистралях с регулируемыми перекрестками (старт-стоповое движение) пропускная способность полосы движения магистрали составляет 500 автомобилей в час в среднем.

Во-вторых, нами предложено расположить полосы движения друг над другом и связать их межэтажными переездами, получив тем самым новую конструкцию эстакады-магистрали с множеством полос движения, распределенных по связанным переездами этажам, что позволяет практически сделать пропускную способность эстакады магистрали неограниченной.



В вышеприведенных материалах приведены ежегодные убытки от пробок, ДТП и загрязнения городского воздуха выхлопными газами в нескольких сотнях крупных городов мира. Эти цифры столь велики, что не могут сравниться с затратами на установку и оснащение предложенных нами беспробочных эстакад-магистралей для безостановочного движения, в основном городских.

Ниже приведены расчеты, из которых следует, что затраты на обеспечение энергией очистных установок невелики, а вытяжки с разрядниками – нейтрализаторами вредного вы-

хлопа давно выпускаются и их регулярная установка в соотношении стоимость установленных аппаратов и себестоимость эстакады опять же невелика.

Поэтому даже если бы эти новые дорожные сооружения были еще дороже, то их все равно необходимо устанавливать. Но, на счастье, побочным эффектом данной разработки является ее сравнительная дешевизна.

В частности, полоса движения на двухуровневой эстакаде-магистрали из металлопроката на стальном каркасе стоит в несколько раз меньше, чем полоса движения наземной магистрали в США. Франции.

Более того, сборка свинчиванием типовых стальных блоков эстакады с установкой их на стальном каркасе производится при соответствующей подготовке очень быстро. Для примера отметим, что недавно в Китае собрали из типовых блоков и оснастили небоскреб на стальном каркасе за две недели.

Это указывает не только на значительное снижение всех затрат на установку эстакады, зависящих от времени, но и на возможность достаточно быстро провести новые магистрали не только в городах, но и между ними, хотя бы по основным направлениям, тем более, что дорожная сеть в большинстве стран мира развита слабо.

Нужная модификация, в частности для МТК (международные транспортные коридоры) предложена в виде объемной эстакады, в едином компактном объеме которого по

двум уровням перемещаются как автопотоки, так и железнодорожные составы-контейнеровозы, а также для транспортировки жидкостей, информации, энергии и т.д. используются те или иные навески. Кроме того, использование буферной колеи при проводке железнодорожных составов по стальной свайной магистрали позволяет установить режим безостановочного движения составов с контейнерами с достаточно высокой скоростью и с минимально возможными интервалами. Даже один такой коридор Европа-Азия, например, вдоль транссибирской магистрали, способный конкурировать по стоимости транспортировки с морскими перевозками и стоящий вне конкуренции по времени перевозки, смог бы сразу изменить лицо Дальнего Востока и сделать его одним из основных регионов мира. На Дальнем Востоке также можно было бы быстро проложить свайные трассы по вечной мерзлоте к ряду месторождений, до сего времени недоступных. Все эти работы приведут и к росту населения края.

Эстакада-магистраль на стальном каркасе не самолет или корабль, а всего лишь трубы, балки, да металлические листы в сборке. То есть предлагаемая эстакада является одним из самых простых в технологическом отношении сооружений. Достаточно на одном экспериментальном образце отработать определенные особенности сборки и установки и можно будет покрыть все основные транспортные направления в мире недорогими, быстро сборными магистралями с безостановочным движением транспортных средств. В част-

ности, таким образом мог бы быть путепровод в виде двухуровневой эстакады, на котором можно было бы отработать все технологии и методики без больших временных и финансовых затрат.

Отметим также проблему общей пропускной способности всего сооружения, которое в прямолинейном виде имеет начало и конец, то есть точки концентрации транспорта, на которых как бы должна падать средняя скорость движения с образованием заторов.

На самом деле, эта проблема является надуманной. В городах, как правило, устанавливаются сквозные эстакады предложенной конструкции, начинающиеся в одном пригороде и заканчивающиеся в другом пригороде с противоположной стороны. Они могут огибать центр города, чтобы не затрагивать его достопримечательности. Подавляющая часть автомобилей в черте города при наличии достаточно частых съездов покидает магистраль отнюдь не конечных точках, которые находятся в дачной местности и до которых доезжают немногие автомобили. Так что эти конечные точки становятся уже не точками концентрации. Далее, кроме сквозных магистралей-эстакад устанавливаются кольцевые эстакады, которые вообще не имеют точек концентрации транспорта, так как не имеют концов. Что же касается возможного сочленения магистралей, то, в частности, в Южной Корее предложен вариант сочленений для многоуровневых эстакад. Но, естественно, могут быть и другие варианты сочле-

нений. И даже, если допустить появление точек концентрации, то проблема падения скорости по всей магистрали, нами решена и описана в настоящей работе, поскольку это тот же случай возникновения затора. И решается он применением нашей усовершенствованной методики ramp metering, то есть применением контролируемого въезда с использованием сквозных буферных полос.

Следует отметить, что в стальной свайной конструкции не используются бетонные громоздкие опоры, а применяются стальные трубы сравнительно малого диаметра (устойчивые при землетрясениях), а сравнительно небольшой вес пролетов из металлопроката с тонким слоем сталефибробетона или другого легкого дорожного покрытия позволяет максимально далеко разнести опоры, а также использовать, при желании и возможностях, пилоны. Кроме того, для самых легких эстакад на основе металлопроката можно использовать не бетонные фундаменты для стальных опор-труб, а просто вбивать или ввинчивать опоры-трубы в землю. Эта технология уже хорошо разработана.

Понятно также, что конструкция, состоящая из сравнительно дешевого металлопроката, 80% которого составляют тонкие металлические листы для пролетов, а остальные 20% металлопроката – это балки и трубы, является одной из самых дешевых дорожных сооружений в целом, а стоимость ее полосы движения будет в несколько раз ниже стоимости полосы движения наземных магистралей не только потому, что

эстакады быстро собирается из типовых металлических секций на болтах с минимумом сварки, но и потому, что число полос в проекции на основание у нее больше в два-три раза, чем у наземной магистрали на той же площадке.

Полосы движения и буферные полосы в виде пролетных участков проложены на вертикальных и горизонтальных опорах. Безостановочное движение, даже при возникновении препятствий на отдельных участках магистрали-эстакады, обеспечивается возможностью переезда транспортного средства на буферную (резервно-техническую полосу) или на другой этаж магистрали-эстакады или путепровода по межэтажному переезду. Въездные участки и участки съезда, а также межэтажные внешние переезды размещены по бокам эстакады.

Магистраль-эстакада располагается вдоль оси магистрали, но может быть при необходимости отведена от нее в сторону.

Общее количество полос движения определяется числом этажей и шириной этажа. Межэтажное расстояние составляет величину, достаточную для свободного проезда автомобилей. В частности, высота между двумя уровнями для легковых автомобилей составляет порядка 2,5 метров, ширина полосы движения, а также буферной (резервно-технической) полосы составляет около трех метров.

Магистраль-эстакада представляет собой каркас, состоящий в поперечном разрезе из двух вертикальных опор (для



варианта со встречным движением) или одной вертикальной опоры (для варианта с односторонним движением) и поперечных опор, крепящихся на вертикальных опорах. Высота вертикальных опор определяется этажностью эстакады и расположением над дорожным полотном. Если первый этаж эстакады расположен над железнодорожным полотном, то его высота составляет 7,2 метра, если над шоссе, то – 4 метра.

Таким образом, высота 2-этажной эстакады от наземного уровня до покрытия второго этажа составляет соответственно около 10 метров. Сборка магистрали-эстакады осуществляется, как правило, с применением длинномерных конструкций с малым числом вертикальных опор. Каждый этаж эстакады опирается на продольные и поперечные опоры, крепящиеся на вертикальных опорах. На опоры укладываются пролетные участки из металлических листов-плит. На них в качестве дорожного покрытия наносится сравнительно тонкий слой сталефибробетона (не менее 50 мм). Если нижний уровень магистрали-эстакады предполагается использовать и для проезда большегрузного транспорта и автобусов, то стальные листы пролетных участков упрочняются ребрами жесткости (ортотропные плиты).

Магистраль-эстакада является надземной частью загруженной значительную часть суток городской магистрали.

Съезды, въезды и внешние межэтажные проезды сближаются в соответствии с уличной сетью города для удобства проезда по магистрали-эстакаде автомобилей. Над вторым

уровнем монтируется парковочный этаж, на который можно въехать как со второго этажа, так и в ряде мест непосредственно с наземного уровня. При этом парковочный этаж может быть расширен, а по бокам эстакады могут быть смонтированы дополнительные отлеты для парковки.

По бокам и сверху магистраль-эстакада в этом варианте закрывается легкой, негорючей прозрачной оболочкой, и в образовавшемся объеме регулярно устанавливаются вытяжки с разрядниками для перевода вредных компонентов выхлопного газа в нейтральные, что делает магистраль-эстакаду экологически чистым дорожным сооружением и снижает степень загрязнения воздуха в городе.

По буферным (резервно-техническим) полосам сквозной проезд автомобилей запрещается, так как они используются для сохранения безостановочности движения, во избежание образования заторов, то есть только для объезда мест аварий или ремонта, а также для въезда на полосы движения и съезда с них.

Для обеспечения безопасности движения боковые поверхности магистрали-эстакады защищены противоударными конструкциями.

Таким образом, легковой автомобиль может въехать на любой этаж и в соответствии с указателями плотности движения перемещаться по нему или переехать на другой этаж и беспрепятственно перемещаться по полосе движения со скоростью 40(60)-90(100) км/час, так как в случае аварии на

полосах движения, автомобиль может объехать место аварии либо по буферной полосе, либо переехать на другой этаж.

Конструктивные особенности магистрали-эстакады предполагают изготовление всех ее элементов в промышленных условиях. Поэтому практически все строительные-монтажные работы, в основном сборочные, производятся на местах сооружения эстакад. Собрать и оснастить конструкцию протяженностью 5 – 10 км с соответствующими подводами и межэтажными переездами при наличии необходимого оборудования, готовых блоков, соответствующих специалистов и проведения предварительных подготовительных работ можно в течение нескольких месяцев.

Один км эстакады с парковкой и очистными установками можно оценить в \$7 – 7,85млн. или  $1\text{ м}^2$  полос движения при их площади  $24000\text{ м}^2$  стоит \$330, а  $1\text{ м}^2$  полной площади пролетных участков –  $54000\text{ м}^2$  – стоит \$145. При этом в данную себестоимость входят стоимость всех материалов, изготовление типовых блоков, их доставка, заработная плата, стоимость подготовительных работ, стоимость аренды машин и механизмов для сборки, стоимость вытяжек с нейтрализаторами выхлопа и т.д.

Столь низкие затраты на установку эстакады объясняются тем, что она быстро собирается и ее сборка из типовых блоков, изготовленных заранее промышленным способом, при наличии подготовленной площадки и осуществления сборки свинчиванием блоков с минимумом сварки, занимает в

общей сложности 2-3 месяца, а не 2-3 года, как это происходит, как правило, со строительством громоздких железобетонных эстакад. Именно это обстоятельство в основном и увеличивает примерно на порядок расходы на заработную плату, аренду оборудования и т.п., что отражается на величине затрат на возведение строящихся ныне стандартных железобетонных эстакад.

Чтобы устранить непонимание того, каким конкретным образом достигается эта низкая себестоимость, отметим следующее.

Прежде всего, необходимо иметь налаженное производство типовых секций и блоков эстакады, которые своевременно доставляются на подготовленную площадку для их сборки в основном болтовым соединениями подготовленной бригадой специалистов при наличии соответствующего оборудования и механизмов. Эта процедура по заранее известной схеме занимает небольшой отрезок времени, зависящий от протяженности участка. Установка свайного каркаса из пустотелых труб так же не занимает много времени при условии того, что трубы вбиваются в заранее определенные точки в соответствии с данными грунтовой разведки и схемами проложенных городских коммуникаций. Движение при этих операциях по наземным магистралям не прерывается. Известные и давно отработанные процедуры нанесения антикоррозийного покрытия, гидроизоляции, сталефибробетона и т.п. так же длятся недолго при соответствующей подготов-

ке специалистов и материала, как и монтаж боковых стенок и крыши. Оснащение эстакады оборудованием и приборами, такими как въездные светофоры с радарными и котроллерами, источники света, видеорегистраторы, линии связи, табло, датчики для мониторинга, противопожарное и эвакуационное оборудование, следящие центры, вертолетные площадки, различные сопутствующие навески в виде кабелей и трубопроводов так же не может быть долгим, если такое оборудование доставлено на площадку вовремя. То есть процедура должна быть отработана до деталей, подготовительные работы совершены, арендованные машины и механизмы готовы к работе, специалисты тоже готовы, типовые блоки изготовлены и подвозятся с нужной периодичностью к уже смонтированному каркасу. Все это сравнительно несложно, если заранее отработано на экспериментальном образце. После этого эстакады по уже отлаженной схеме и имеющемуся промышленном производстве типовых блоков быстро устанавливаются в определенных местах города и пригорода для «искоренения» пробок.

Тем не менее, главное – это совсем не удельная себестоимость восьмиполосной двухуровневой эстакады-магистралли с выделенной парковкой на основе металлопроката (\$7 – 7,85 млн. за километр), хотя она ниже средней себестоимости, например, шестиполосной автомагистралли в России (\$ 10 млн. за километр) или четырехполосного путепровода в России (\$ 30 млн. за километр), – а решение основных го-

родских транспортных проблем, именно:

– конструкция закрытой свайной двухуровневой эстакады с переездами между этажами и буферными полосами обеспечивает движение практически любого количества автомобилей на высокой скорости, без остановок и пробок в любую погоду, то есть при движении по новым магистралям большей части легковых автомобилей города потери от пробок при общей разгрузке дорожной сети, отсечении основного потока автомобилей от потоков пешеходов, снижении шума и попадания в воздух выхлопного газа снизятся более чем в два раза и, в частности, а сами эстакады-магистрали окупятся примерно за 1 – 2 года в среднем;

– данная двухуровневая магистраль является экологически чистой, поскольку в ее закрытом пространстве устанавливаются вытяжки с разрядниками, к тому же закрытая магистраль не подвержена климатическим воздействиям, ее полосы движения не заносит снегом и не поливает дождем, а надежная свайная конструкция не разрушается при землетрясениях и не размывается наводнениями;

– магистраль при ее небольшом расширении может служить основой и для дешевого надземного метро с вылетом его на 20-30 км от крупного города, причем ее себестоимость составит около \$7 млн. за км;

– стальной свайный каркас, так же как каркас небоскребов, обеспечивает эстакаде повышенную надежность, закрытые полосы – повышенный ресурс без ремонта, а свайная

технология обеспечивает возможность проводки по любому грунту и рельефу, в том числе при необходимости и над домами, другими дорогами и т.д.;

– быстрота и дешевизна установки региональных надежных и эффективных эстакад на стальном каркасе может освободить все крупные города мира от пробок и заторов не когда-то, а в ближайшие годы;

– десятки, а с течением времени и сотни тысяч дополнительных парковочных мест на третьем ярусе эстакады (можно использовать в ряде мест для этого и боковые отлеты) позволят не только облегчить ситуацию с размещением автомобилей в городе, но и при развитии сети эстакад в городе значительная часть автомобилей сможет вообще не покидать пределы эстакады и перемещаться по новым транспортным сетям без участия водителей в управлении автомобилем;

– для правительств, возможно, основным будет то, что внедрение беспробочной системы транспортных коммуникаций позволит ежегодно экономить практически по каждой стране миллиарды долларов.

Отметим далее, что методика организации безостановочного движения автомобилей, то есть движения без пробок и заторов, разработанная нами для путепроводов и надземных магистралей вполне пригодна и для обычных наземных магистралей без светофоров с тем ограничением, что, в отличие от многополосных эстакад со связанными уровнями, число полос на наземной магистрали сравнительно невелико

и суммарная пропускная способность трассы также меньше. Однако, несмотря на это, при определенных нами условиях и на наземной магистрали можно установить выгодный режим безостановочного движения.

Помимо этого, модернизация имеющихся эстакад и путепроводов с соответствующим увеличением их пропускной способности с помощью установки второго металлического яруса над одноэтажными эстакадами не потребует реконструкции всех существующих мостов, путепроводов, эстакад, так как дополнительная нагрузка от второго яруса не падает на модернизируемую конструкцию. Второй ярус из металлопроката монтируется не на существующей бетонной эстакаде, мосте или путепроводе как опоре, а собирается на отдельном стальном каркасе, как бы накрывающем существующий путепровод, мост или эстакаду.

Сборные железобетонные пролетные строения двухэтажной магистрали-эстакады с восемью полосами движения и четырьмя резервно-техническими полосами.

Широкое распространение в строительстве находят эстакады из сборного железобетона.

Пролетные строения железобетонных эстакад монтируются из сборных цельнопролетных балок, устанавливаемых на возведенные ранее капитальные или временные опоры. При этом в зависимости от грузоподъемности кранового оборудования сборным блоком может быть одна балка, несколько соединенных в поперечном направлении ба-



лок или даже целое разрезное пролетное строение. Такой способ-монтажа применяют чаще всего в эстакадах балочно-разрезной или балочно-неразрезной системы, образуемых объединением над опорами разрезных балок.

Монтаж осуществляется различными механизмами в зависимости от местных условий. Если позволяет грузоподъемность, то монтаж ведут стреловыми кранами. Установку в пролет цельнопролетных балок можно производить порталными кранами, перемещающимися по специальным путям вдоль эстакады на поверхности земли. При большой длине и высоте эстакады или невозможности устройства порталных кранов применяют шлюзовые краны, передвигающиеся по готовой части эстакады и монтирующие балки перед собой. Если эстакады проходят над водой, то балки можно доставлять к месту монтажа на плаву.

Для предлагаемой конструкции, монтаж которой производится в городских условиях при недостатке пространства, наиболее предпочтительным является применение шлюзовых кранов.

На строительной площадке затем ведут укрупнительную сборку, после чего собранные балки устанавливают в проектное положение кранами. Пролетные строения эстакад неразрезной или рамной системы с пролетами более 30-40 метров монтируют из коротких блоков, непосредственно устанавливаемых в пролет. Простейший способ такой сборки – укладка блоков на сплошных подмостях с последующим их объ-

единением путем омоноличивания стыков и натяжения продольной арматуры. Такой способ требует возведения большого количества подмостей и ведет к загромождению подэтажного пространства.



Более экономичным следует считать устройство подмостей только в одном пролете. После монтажа пролетного строения в этом пролете подмости разбирают и перемещают

ют в следующий пролет. Усовершенствованной разновидностью этого способа строительства является метод попролетной сборки. Подмости представляют собой в этом случае специальный агрегат, который перемещается из пролета в пролет, опираясь на опоры эстакады и собранную часть конструкции. Здесь конструкция пролетного строения должна быть такой, чтобы обеспечивалось беспрепятственное перемещение подмостей в очередной пролет.

Продольную надвижку железобетонных пролетных строений применяют при пролетах 40-60 метров. По этому методу пролетное строение собирают из отдельных коротких блоков и выдвигают в проектное положение системой лебедок или толкающими домкратными установками без использования или с использованием временных промежуточных опор. Этот способ применим для балочно-неразрезных пролетных строений с постоянной высотой.

Сборка на подходах пролетных строений на всю длину требует достаточно протяженной строительной площадки, что в условиях города не всегда выполнимо. Более рациональна надвижка с одновременной тыловой сборкой, при которой конструкция наращивается по одному блоку и выталкивается в пролет или собирается на целый пролет и только потом выдвигается на опоры.

Аналогичным вышеуказанному образом можно монтировать и двухэтажную железобетонную эстакаду, используя в качестве основы первый этаж и шлюзовые краны.

Оценка основных экономических показателей двухэтажной железобетонной магистрали-эстакады двустороннего движения.

Оценим основные экономические показатели километрового отрезка двухэтажной железобетонной магистрали-эстакады двустороннего движения с четырьмя полосами движения и двумя резервно-техническими полосами по три метра в ширину каждая на обоих этажах.

Пролетные участки монтируются на железобетонных балках и поперечных опорах, которые устанавливаются на железобетонных вертикальных опорах-столбах (марка железобетона М-400), закрепленных в бетонных фундаментах-колодцах.

Железобетонные дорожные плиты (марка железобетона М-400), удерживаются десятью рядами продольных балок высотой 0,5 метра, толщиной 0,3 метра между поперечными опорами длиной 18 м, высотой 0,5м, толщиной 1 м, установленными через каждые 50 метров на столбах-опорах диаметром 2 метра (в предпочтительном исполнении опоры выполняются в сечении эллипсовидными – вытянутыми вдоль магистрали) и высотой 4 метра между каждым этажом. Высота магистрали-эстакады от уровня наземной поверхности до уровня пролетных участков второго этажа – порядка 10 метров.

На каждом километровом участке магистрали-эстакады

в городском исполнении имеется с каждой стороны по два съезда, по два въезда на первый этаж и по одному межэтажному внешнему переезду – вверх или вниз через километр, каждый протяженностью не менее 130 метров, шириной не менее 4 метров, пролетные участки въездов и съездов монтируются на балках и поперечных опорах, и вся конструкция удерживается тремя одинарными столбами-опорами, межэтажные переезды монтируются на консолях. Конструкции въездов, съездов, переездов могут быть выполнены как из железобетона, так и на основе металлопроката с покрытием пролетных участков тонким слоем сталефибробетона. При необходимости над вторым этажом на металлических опорах устанавливается парковочный этаж из металлических пролетов-плит (6x3x0,008) метров. По бокам и сверху конструкция закрывается прозрачной или полупрозрачной оболочкой. Внутри закрытой конструкции в городских условиях регулярно устанавливаются вытяжки с разрядниками для нейтрализации токсичных компонентов выхлопного газа, противопожарные устройства, устройства экстренной эвакуации, системы освещения, наблюдения, табло и т.п., включая в случае необходимости велодорожки снаружи.

Пролетные участки шириной 18 метров собираются из 1500 стандартных дорожных плит на каждый этаж (6 x 2 x 0,14) метров. Объем пролетных участков на этаж – 2520 м куб., масса – 6300 тонн.

Объем 200 пятидесятиметровых балок (50 x 0,5 x 0,3) куб.

метров на этаж составляет 1500 м, масса – 3750 тонн.

Объем 21 поперечной опоры (18 x 0,5 x 1,0) куб. метров на этаж составляет 189 м, масса – 472,5 тонны.

Объем 42 столбов-опор диаметром 2 метра и высотой 4 метра составляет 525 м., масса – 1312,5 тонны.

Объем 42 забетонированных колодцев-фундаментов для столбов-опор глубиной 2 метра и площадью 9 кв.м. составляет 756 м. куб., масса – 1890 тонн.

Таким образом, объем материала одного этажа без дополнительных въездных, съездных и переездных участков в виде готовых блоков и секций составляет 4734 м. куб., масса – 11835 тонн. При цене одного кубического метра железобетона указанной марки в настоящее время в России порядка 9000 руб.(\$300) себестоимость готовых блоков этажа указанного объема составляет \$1,42 млн. Масса одного этажа, не включая массы столбов-опор, составляет – 10500 тонн.

Объем каждого из дополнительных переездных, въездных и съездных участков (130 x 4 x 0,14) куб. метров вместе с тремя продольными балками, (каждая по объему составляет (130 x 0,3 x 0,3) куб. метров), тремя поперечными опорами (4 x 0,5 x 0,3) куб. метров и тремя столбами-опорами диаметром 0,5м из железобетона составляет порядка 100 м. куб., масса – 250 тонн. Объем шести участков – 600 м.куб, масса – 1500 тонн. Протяженность каждого участка не менее 130 метров выбрана из расчета, что при подъеме или спуске уклон не превысит 4%.

Масса обеих этажей железобетонной эстакады, не включая массы столбов-опор первого этажа и массы колодцев-фундаментов, составляет – 23800 тонн, а с исключением массы четырех въездов и съездов – 22800т.

Объем железобетонных блоков всей двухэтажной магистрали-эстакады (1км), включая колодцы-фундаменты и дополнительные участки составляет:  $4734 + 4734 + 756 + 600 = 10824$  м.куб, себестоимость – \$3,25 млн., масса:  $11835 + 11835 + 1890 + 1500 = 27160$  тонн.

В городских условиях магистраль-эстакада закрывается по бокам и сверху прозрачной или полупрозрачной оболочкой из негорючего пластика. В качестве таких материалов могут использоваться стеклопластики. Они уже давно применяются, как конструкционный и теплозащитный материал при производстве корпусов лодок, катеров, судов и ракетных двигателей, кузовов автомобилей, цистерн, рефрижераторов, радиопрозрачных обтекателей, лопастей вертолётов, коррозионностойкого оборудования. При этом цены на стеклопластик довольно низкие. Так же недорог и прозрачный поликарбонат разных оттенков. Несколько более дорогими являются негорючие и шумопоглощающие алюминиевые композитные панели – порядка 1000 рублей за квадратный метр. Однако они не требуют ухода и формируют при декорировании прекрасный дизайн сооружения. Поверхность остальных открытых участков магистрали-эстакады можно не красить, а покрывать антикоррозионным

слоем, например, в виде стеклофибробетона или применять для них другие новейшие и недорогие материалы. В различных пожароопасных местах можно использовать покрытия из термически устойчивых углеродных композитов различного типа.

Для двухэтажной магистрали-эстакады без парковочного (третьего) этажа с шириной пролетных участков 18 метров, расстоянием между первым и вторым этажами 4 метра, высотой оболочки над вторым этажом – 4 метра площадь поверхности на 1 км эстакады составляет порядка 34000 м.кв.. При цене в среднем 1 м.кв. пластика \$10 себестоимость оболочки составит \$0,34 млн. С учетом парковочного (третьего этажа) себестоимость оболочки составит \$0,42 млн.

Остальные расходные статьи на установку эстакады включают в себя доставку готовых блоков; сборку; аренду кранов, других механизмов и оборудования; оснащение эстакады указанным выше оборудованием и приборами; проведение предварительных геодезических и других вспомогательных работ; а также оплату сертификации испытаний и т.п.

Известно, что цена доставки кубического метра железобетона на расстояние 51-55 км автотранспортном составляет 1000 руб. (\$33). Таким образом, доставка 10824м.куб железобетона от завода до места монтажа и установки обойдется в \$0,36 млн.

Сборку 1 км магистрали-эстакады можно при наличии необходимого оборудования и механизмов осуществить за



2-3 месяца 20-ю специалистами при выплате им \$100 тыс.

Аренда механизмов, включая кран, и остального оборудования на один месяц обойдется в сумму порядка \$100 тыс.

Оснащение эстакады необходимыми приборами и оборудованием займет не менее месяца и потребует участие не менее 50 специалистов при выплате им не менее \$100 тыс.

Стоимость необходимого оборудования и приборов, включая регулярно установленные (через каждые 50 метров) мониторы-видеорегистраторы, осветительные приборы, противопожарное оборудование, табло, эвакуационные рукава, приборы и оборудование для мониторинга, блоки управления и т.д. можно оценить в сумму не менее \$100 тыс.

Стоимость предварительных геодезических и других вспомогательных работ можно оценить в сумму не менее \$100 тыс.

С учетом указанных статей дополнительных расходов и расходов на оболочку себестоимость 1 км двухэтажной магистральной-эстакады с восемью полосами движения (без парковочного этажа) возрастет на следующую сумму: \$360 тыс. + \$500 тыс. + \$340 тыс. = \$1200 тыс. и составит: \$3,25 + \$1,2 = \$4,45 млн.

В городских условиях каждый этаж необходимо оснащать вытяжками с разрядниками для нейтрализации токсичных компонентов выхлопного газа. Определим эту составляющую.

Основная проблема вентиляционных выбросов из гара-

жей, паркингов и стоянок в том, что их вентиляция аккумулирует токсичные вещества, образующиеся при работе автомобилей в месте выброса воздуха из вентиляции. Следствием этого является концентрирование выхлопных газов автомобилей внутри тоннеля и вокруг вентиляционных шахт, через которые осуществляется выброс загрязненного воздуха. Наиболее загрязненный выхлоп автомобилей происходит во время запуска двигателя и при его прогреве, т.е. как раз в помещениях гаражей, стоянок и паркингов.

Выхлопные газы автомобилей содержат:

продукты неполного сгорания жидкого топлива (СО, сажа, углеводороды, др.) паркингов и тоннелей могут достигать концентраций, указанных в табли-

Наименование токсичного компонента выхлопа автомобиля	Химическая формула
оксид углерода	CO
альдегиды (суммарно)	CH <sub>2</sub> O (формальдегид) CH <sub>2</sub> -CH-CHO (акролеин)
сажа (углерод)	C
углеводороды простого строения (суммарно)	CH, CH <sub>4</sub> , C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> и др.
бензапирен	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>

Содержание токсичных веществ в вент. 10000м<sup>3</sup>/ч и одновременной работе двигат.

сичные компоненты выхлопных газов по-разному влияют на организм человека. Оксид углерода вызывает кислородное голодание организма и поражает центральную нервную систему. Альдегиды (формальдегид, уксусный альдегид, акролеин и др.) раздражающе действуют на слизистые оболочки и поражают нервную систему. К числу канцерогенных веществ относятся бензапирен, полициклические ароматические углеводороды, антрацены. Они являются сильными ядами, вызывают пищевые отравления, разрушают органы дыхания и нервную систему.

В настоящее время основным и самым распространенным методом нейтрализации вышеуказанного эффекта является метод рассеивания вентиляционных выбросов из тоннелей. Это ведет к образованию значительных загрязненных территорий вокруг вентиляционных шахт.

В отношении суммарного объема выходящих из глушителя легкового автомобиля выхлопных газов в среднем можно ориентироваться на следующую цифру – один литр сжигаемого бензина приводит к образованию примерно 16 кубометров смеси различных газов. При скорости 60-70 км/час на прохождение 1 км трассы автомобилем в среднем расходуется около 0,04 литра бензина и выделяется 0,6 м.куб. выхлопных газов. По одной полосе движения в магистрали-эстакаде в среднем за один час проходит 2000 легковых автомобилей, которые могут выделить в объем магистрали-эстакады до 1200 м.куб. выхлопных газов. На одном этаже маги-

страли-эстакады двустороннего движения протяженностью 1 км, содержащем 4-е полосы движения и 2-е буферные полосы, выделяется в четыре раза больше выхлопных газов – 4800 м.куб.. Полный объем 1 км этажа магистрали-эстакады с учетом буферных полос составляет 72000 м.куб. и в нем выхлопной газ рассеивается. Для ликвидации токсичных компонентов выхлопных газов требуется установить на каждом этаже столько очистных установок, сколько требуется для очистки указанного объема загрязняемого выхлопным газом воздуха.

Известны газоконвертеры «Ятаган» – газоразрядно-каталические установки для очистки 12000 м.куб./час воздуха с содержанием в нем не более 1000 мг/м<sup>3</sup> органических загрязнений – стоимостью за установку «Ятаган 12,0-1000» \$50 тыс. То есть на этаж потребуется 6 подобных установок, на два этажа – 12 установок стоимостью \$600 тыс., а на три этажа – 18 установок стоимостью \$900 тыс.

Установки эффективно работают при содержании вредных примесей в 1 м.куб. воздуха не более 1000 мг. При указанной интенсивности движения на каждом километре одного этажа магистрали-эстакады по максимуму может находиться до 200 автомобилей (до 50 автомобилей на каждой из 4-х полос движения), которые выбрасывают в 1 м.куб. воздуха объема эстакады выхлопного газа не более 400 мг токсичных веществ.

Таким образом, оснащение двухэтажной магистрали-эс-

такады очистными установками обойдется в сумму порядка \$600 тыс., трехуровневой – \$900 тыс.

Себестоимость двухэтажной эстакады с очистными установками составит: \$4,45 млн. + \$0,6 млн. = \$5,05 млн.

Третий – парковочный этаж монтируется на основе металлопроката. Пролетные участки в виде стальных плит (6х3х0,008) метра укладываются на металлические полые поперечные опоры длиной 20м, диаметром 15 см, толщиной стенки 8 мм и, закрепляются на вертикальных опорах – металлических полых столбах – высотой 2,5 метра диаметром 15 см, толщиной стенки 8 мм, которые располагаются на расстоянии 6 метров друг от друга продольно и – 9 метров поперечно. По краям для расширения пролетных участков до 20 метров монтируются аналогичные указанным плитам по параметрам листы, но шириной 1 метр.

Масса пролетного участка протяженностью 1 км и шириной 20 метров при толщине плит 0,008 м и плотности стали 7,8 т/м.куб. составит:  $1000\text{м} \times 20\text{м} \times 0,008\text{м} \times 7,8 \text{ т/м.куб.} = 1400 \text{ тонн.}$

Диаметр поперечных и вертикальных опор 150мм, толщина стенки 8мм, сечение – 2000мм.кв.. Протяженность поперечной опоры – 20 метров, число поперечных опор – 167. Масса поперечных опор составляет:  $167 \times 20\text{м} \times 0,002 \text{ м.кв.} \times 7,8 \text{ т/ м.куб.} = 52 \text{ тонны.}$  Высота опор-столбов 2,5 метра, число опор-столбов 501. Масса столбов-опор составит:  $501 \times 2,5\text{м} \times 0,002 \text{ м.кв.} \times 7,8 \text{ т/ м.куб.} = 20 \text{ тонн.}$  В сумме масса

опор составляет 72 тонны.

Таким образом, масса парковочного этажа из металлопроката примерно равна 1500 тонн. При цене металлопроката \$1000 себестоимость парковочного этажа составит порядка \$1,5 млн. Доставка около 1500 тонн металлических конструкций при цене доставки тонны автотранспортом на расстояние порядка 650 км \$50 стоит порядка \$0,075млн. и себестоимость третьего уровня уже составит \$1,575 млн.

В сумме стоимость доставки железобетонных и металлических конструкций составит: \$0,36 млн. + \$0,075 млн. = \$0,435 млн.

При оснащении парковочного этажа очистными установками и дополнительным оборудованием его себестоимость возрастет до \$1,875 млн.

На одном километре парковочного этажа может быть размещено с учетом их проезда к местам парковки порядка 660 легковых автомобилей.

Масса 1 км трехуровневой магистрали-эстакады без учета массы колодцев-фундаментов и массы столбов-опор первого этажа составит 25300 тонн.

Себестоимость 1 км магистрали-эстакады с парковочным этажом и очистными установками на всех трех уровнях составит: \$5,05 млн. + \$1,875 млн. = \$6,85 млн.

На каждых четырех километрах магистрали-эстакады в городских условиях с обеих сторон монтируется, как минимум, два вьезда, два съезда, соединяющие наземный и тре-

тий уровень эстакады, а также два межэтажных переезда, соединяющие второй и третий уровни эстакады.

Объем переездного участка ( $130 \times 4 \times 0,14$ ) куб. метров вместе с тремя балками ( $130 \times 0,3 \times 0,3$ ) куб. метров, тремя поперечными опорами ( $4 \times 0,5 \times 0,3$ ) куб. метров и тремя столбами-опорами диаметром 0,5м из железобетона на каждом участке составляет порядка 100 м.куб, масса – 250 тонн. Протяженность каждого участка, соединяющего два соседних этажа, – не менее 130 метров – выбрана из расчета, что при подъеме или спуске уклон не превысит 4%. Себестоимость участка при цене кубометра железобетона \$300 составит \$30 тыс. Два участка стоят \$60 тыс. Переездные участки могут также быть выполнены из металлопроката и смонтированы на консолях.

Въездной или съездной участок из металлопроката для соединения наземного уровня и третьего – парковочного этажа с перепадом высот порядка 15 метров включает в себя пролетные участки из металлических плит размером 4 на 6 метров и толщиной 0,008 метра, поперечные опоры, столбы-опоры. Протяженность каждого участка соединяющего наземный и третий уровень эстакады не менее 380 метров выбрана из расчета, что при подъеме или спуске уклон не превысит 4%.

Пролетные участки в виде стальных плит ( $6 \times 4 \times 0,008$ ) метра укладываются на металлические полые поперечные опоры на расстоянии 6 метров друг от друга. Их длина –



4м, диаметр – 15 см, толщина стенки 8 мм каждая. Они закрепляются на вертикальных опорах – металлических полых столбах – высотой от 1,5 до 15 метров диаметром 15 см, толщиной стенки 8 мм, которые располагаются на расстоянии 6 метров друг от друга продольно. Число поперечных опор составляет 63, вертикальных – 63.

Масса пролетного участка въезда или съезда протяженностью 380 метров и шириной 4 метра при толщине плит 0,008 м и плотности стали 7,8 т/м.куб. составит:  $380\text{м} \times 4\text{м} \times 0,008\text{м} \times 7,8 \text{ т/м.куб.} = 95 \text{ тонн.}$

Диаметр поперечных и вертикальных опор 150мм, толщина стенки 8мм, сечение – 2000мм.кв.. Протяженность поперечной опоры – 4 метра, число поперечных опор – 63. Масса поперечных опор составляет:  $63 \times 4\text{м} \times 0,002 \text{ м.кв.} \times 7,8 \text{ т/м.куб.} = 4 \text{ тонны.}$  Высота опор-столбов в среднем 8 метров, число опор-столбов 63. Масса столбов-опор составит:  $63 \times 8\text{м} \times 0,002 \text{ м.кв.} \times 7,8 \text{ т/ м.куб.} = 8 \text{ тонн.}$  В сумме масса опор составляет 12 тонн.

Таким образом, масса съезда или въезда с наземного уровня на парковочный этаж (третий уровень) из металлопроката примерно равна 107 тоннам. При цене металлопроката \$1000 себестоимость одного въезда или съезда составит около \$ 0,11 млн. Четыре участка, таким образом, стоят порядка \$ 0,44 млн. Общая себестоимость двух въездных, двух съездных и двух переездных участков составляет около \$0,5 млн. То есть на 1 км магистрали-эстакады из этой себесто-

имости приходится \$0,13 млн. Масса двух въездных, двух съездных и двух переездных участков, приходящаяся на четыре километра магистрали-эстакады, составляет:  $(4 \times 116т) + (2 \times 250т) = 964т$ . На один километр магистрали-эстакады, таким образом, приходится 241 тонна.

Масса 1 км трехуровневой магистрали-эстакады с двумя железобетонными этажами с железобетонными переездами на них и третьим – парковочным этажом из металлопроката вместе с переездами, давящая на 42 бетонные опоры-колонны диаметром 2 метра, составляет около 24000 тонн. То есть на общую площадь колонн-опор по сечению 1318800см.кв. действует 24 миллиона кг, или один квадратный сантиметр подвергается давлению 18кгс. Предел прочности на сжатие бетона марки М400 –393кгс/см.кв.. Это означает, что конструкция имеет 22-кратный запас прочности. На 1 км трехуровневой магистрали-эстакады указанной конструкции может одновременно находиться около 400 автомобилей в движении на первом и втором уровнях и 700 автомобилей на парковочном – третьем уровне, то есть в сумме 1100 автомобилей. Если учесть их массу, которая при средней массе легкового автомобиля 2 тонны составляет 2200 тонн, то конструкция с массой 26200т сохранит многократный запас прочности, равный в данном случае 20. Для 1 км четырехуровневой магистрали-эстакады, включающей еще один (четвертый) этаж для парковки из металлопроката с учетом возможности нахождения на нем порядка 700 автомобилей

дополнительная нагрузка на опоры увеличится еще на вес четвертого этажа (1500т) и вес автомобилей, находящихся на нем (1400т), то есть общая нагрузка на столбы-опоры станет 29100 тонн. Запас прочности и в этом случае будет многократным – 18.

Полная себестоимость 1 км магистрали-эстакады при учете себестоимости дополнительных участков, соединяющих парковочный этаж с другими уровнями, самим парковочным этажом и очистными установками на всех трех уровнях составит: \$5,05 млн. + \$1,935 млн. + \$0,13 млн. = \$7,1 млн.

Таким образом, себестоимость квадратного метра пролетов трех этажей (54000м.кв.) составит \$140, а в пересчете только на восемь полос движения шириной 3 метра каждая (24000м.кв.) – \$300.

При установке полностью оснащенной трехуровневой магистрали-эстакады, например, в Москве по радиальному направлению от ТТК до МКАД (10км) и дальше – в Подмосковье – на 15 км (общая протяженность 25 км) ее себестоимость составит порядка \$177,5 млн.

Сборные стальные пролеты двухэтажной магистрали-эстакады с восемью полосами движения и четырьмя буферными полосами. Методика сборки и экономическая оценка километровой конструкции.

Пролетные участки первого уровня магистрали-эстакады двустороннего движения протяженностью 1000 м в виде стальных листов-плит (6х3х0,008) метра укладываются

на стальные двутавровые балки – продольные и поперечные опоры, высотой по сечению 200мм, шириной – 100мм, которые закрепляются на вертикальных опорах – металлических колоннах – высотой от 2 до 4 метров, диаметром 30 см, толщиной стенки 20 мм. Колонны располагаются на расстоянии 50 метров друг от друга продольно и 18 метров поперечно. Еще порядка 2 метров каждой колонны являются частью фундамента. Колонны могут устанавливаться и на основе из нескольких свай.

Площадь пролетных участков первого уровня составляет 18000 м.кв., число стальных листов-плит – 1000. Если по первому уровню допускается проезд автобусов и тяжелогрузных автомобилей, то стальные листы-плиты усиливаются. Для этого к нижней поверхности плоского стального листа привариваются продольные и поперечные ребра, имеющие разную жесткость, то есть формируется ортотропная плита, цена которой несколько выше цены плоского стального листа из металлопроката.

Масса пролетного участка первого уровня протяженностью 1км и шириной 18 метров при толщине стальных листов-плит 0,008 м и плотности стали 7,8 т/м.куб. составляет:  $1000\text{м} \times 18\text{м} \times 0,008\text{м} \times 7,8\text{т/м.куб.} = 1124$  тонны. Площадь пролетного участка – 18000м.кв..

Пролетные участки второго уровня магистрали-эстакады двустороннего движения протяженностью 1000м в виде стальных листов-плит (6х3х0,008) метра укладываются

на стальные двутавровые балки-опоры, высотой по сечению 200мм, шириной – 100мм, которые закрепляются на продолжении вертикальных опор высотой 4 метра над первым уровнем эстакады.

Площадь пролетных участков второго уровня составляет 18000 м.кв., число стальных листов-плит – 1000. Масса пролетного участка верхнего уровня протяженностью 1км и шириной 18 метров при толщине стальных листов-плит 0,008 м и плотности стали 7,8 т/м.куб. составляет:  $1000\text{м} \times 18\text{м} \times 0,008\text{м} \times 7,8\text{т/м.куб.} = 1124$  тонны. Площадь пролетного участка – 18000м.кв..

Масса обоих пролетных участков протяженностью каждого 1км и шириной каждого 18 метров составляет 2248 тонны. Площадь обоих пролетных участков – 36000м.кв..

Парковочная площадка верхнего уровня магистрали-эстакады двустороннего движения протяженностью 1000м выполнена в виде стальных листов-плит (6 x 3 x 0,008) метра, которые укладываются на стальные двутавровые балки-опоры, высотой по сечению 200мм, шириной – 100мм. Балки-опоры закрепляются на продолжении вертикальных опор высотой 5 метров над первым уровнем эстакады.

Площадь парковочной площадки верхнего уровня составляет 18000 м.кв., число стальных листов-плит – 1000. Масса парковочной площадки верхнего уровня протяженностью 1км и шириной 18 метров при толщине стальных листов-плит 0,008 м и плотности стали 7,8 т/м.куб. составляет:

$1000\text{м} \times 18\text{м} \times 0,008\text{м} \times 7,8\text{т/м.куб.} = 1124$  тонны. Площадь площадки –  $18000\text{м.кв.}$ .

Масса пролетного участка межэтажного переезда протяженностью  $150\text{м}$  и шириной  $4$  метра при толщине стальных листов-плит  $0,008\text{м}$  и плотности стали  $7,8$  т/м.куб. составляет:  $150\text{м} \times 4\text{м} \times 0,008\text{м} \times 7,8\text{т/м.куб.} = 37$  тонн. Площадь пролетного участка переезда –  $600\text{м.кв.}$ . Масса восьми металлических консолей – стальных двутавровых балок длиной  $4\text{м}$  каждая, высотой по сечению  $200\text{мм}$ , шириной –  $100\text{мм}$  составляет  $0,7\text{т}$ , поскольку для данного типа двутавровой балки масса балки протяженностью  $44,7\text{м}$  составляет  $1$  тонну. Масса продольной балки длиной  $150$  м составляет  $3$  тонны. Общая масса стального межэтажного переезда –  $41\text{т}$ . Масса двух переездных участков для перемещения автомобилей с первого уровня на второй и наоборот, устанавливаемых по обеим сторонам эстакады в среднем на один-два километра протяженности, так же как и двух переездных участков с второго уровня на парковочный этаж, составляет  $82\text{т}$ , а площадь –  $1200$  м.

Масса въезда (съезда) с наземного уровня на первый этаж магистрали-эстакады протяженностью  $100\text{м}$  и шириной  $4$  метра при толщине стальных листов-плит  $0,008$  м и плотности стали  $7,8$  т/м.куб. составляет:  $100\text{м} \times 4\text{м} \times 0,008\text{м} \times 7,8\text{т/м.куб.} = 25\text{т}$ . Площадь пролетного участка –  $400\text{м.кв.}$ . Масса двух поперечных опор – стальных двутавровых балок длиной  $4\text{м}$  каждая, высотой по сечению  $200\text{мм}$ , шириной –

100мм составляет 0,2т, поскольку для данного типа двутавровой балки масса балки протяженностью 44,7м составляет 1 тонну. Масса продольных балок длиной 200 м составляет 4 тонны. Общая масса стального въезда (съезда) – 30т. Масса двух въездов (съездов) составляет 60т, а площадь – 800 м.кв.. В среднем для городских магистралей-эстакад въезды (съезды) монтируются на один-два километра протяженности эстакады.

Для парковки легковых автомобилей в ряде мест целесообразно вывести въездные (съездные) участки непосредственно на третий – парковочный уровень. Въездной или съездной участок из металлопроката для соединения наземного уровня с уровнем третьего – парковочного – этажа с перепадом высот порядка 9 метров включает в себя пролетные участки из металлических плит размером 4 на 6 метров и толщиной 0,008 метра, поперечные опоры, столбы-опоры. Протяженность каждого участка соединяющего наземный и третий уровень эстакады порядка 300 метров выбрана из расчета, что при подъеме или спуске уклон не превышал 4%.

Диаметр вертикальных опор-колонн 300мм, толщина стенки 20мм, сечение – 17600мм.кв.. Число опор-колонн – 42 и их высота от двухметровой подземной части до уровня парковочного этажа (9м) составляет 11,5 м. Общая длина колонн составляет 483м. Число опор-колонн, удерживающих два въезда (съезда) – 4, высота – от 4 до 2 метров, в среднем 3 м. Всего получается округленно 495м. Их общая

масса: 68т.

Протяженность двутавровых балок – продольных опор нижнего уровня магистрали-эстакады – составляет семь рядов, общей длиной 7000м, протяженность 21 поперечной восемнадцатиметровой опоры-балки 378 м, общая длина балок – 7378м. Их масса из расчета: 44,7м соответствует одной тонне, составляет 165т. Общая масса нижнего уровня вместе с горизонтальными опорами составляет 1289т.

Общая масса всех трех уровней вместе с горизонтальными опорами составляет 3900т.

Общая площадь всех пролетных участков километровой двухуровневой магистрали-эстакады двустороннего движения, включая два переезда, два съезда, два въезда – 38800 м.кв.

Общая масса стальных блоков и элементов магистрали-эстакады составляет порядка 4110т. При цене одной тонны стального проката \$1000 стоимость стальных блоков и элементов магистрали-эстакады составит \$4,11млн.

Масса блоков магистрали-эстакады, составляющая нагрузку на опоры-колонны, равна 3959т.

Пролетные участки и парковочная площадка (она при необходимости может быть преобразована в пролетный участок для сквозного проезда автомобилей) магистрали-эстакады покрываются, как минимум, пятисантиметровым слоем дорожного покрытия – сталефибробетоном. Общая площадь пролетов магистрали-эстакады – 56800м.кв.. Объем



сталефибробетонного покрытия – 2840м.куб., масса – 7100 т, стоимость при цене кубометра сталефибробетона \$300 – \$0,852 млн.

С учетом массы сталефибробетона масса магистрали-эстакады составит 11210т и суммарная стоимость – \$4,962 млн., а масса нагрузки на вертикальные опоры составит 11059т.

Покрытие открытых стальных поверхностей площадью около 56800 м.кв. антикоррозионным составом со средней стоимостью порядка \$10 на квадратный метр можно оценить в сумму \$0,568 млн. А монтаж гидроизоляции на той же площади с той же стоимостью можно оценить в сумму \$0,568 млн.

Сверху и по бокам магистраль-эстакада закрыта пластиковой прозрачной негорючей оболочкой общей площадью 33000 м.кв.. Ее стоимость при средней цене пластика \$10 за м.кв. составляет \$0,33млн.

42 фундамента (1x1x2) метра для опор-колонн потребуют 84 м.куб. бетона стоимостью \$25 тыс.

Стоимость указанных конструкций и материалов составит в сумме \$6,450млн.

Остальные расходные статьи на установку эстакады включают в себя доставку готовых блоков; сборку; аренду кранов, других механизмов и оборудования; проведение предварительных геодезических и других вспомогательных работ.

Известно, что цена доставки кубического метра бето-

на на расстояние 51-55 км автотранспортном составляет 1000руб. (\$33). Таким образом, доставка 2920м.куб. бетона от завода до места монтажа и установки магистральной эстакады обойдется в \$0,096 млн. Доставка около 4110 тонн металлических конструкций при цене доставки тонны автотранспортом на расстояние порядка 650 км \$50 стоит около \$0,205млн. В сумме доставка конструкций и материала обойдется в \$0,300 млн.

Сборку 1 км эстакады вместе с въездами, съездами, переездами можно при наличии необходимого оборудования и механизмов осуществить за один месяц 20-ю специалистами при выплате им \$100 тыс.

Аренда механизмов, включая кран, и остального оборудования на один месяц обойдется в сумму порядка \$100 тыс.

Внутренний объем эстакады, а также въезды и съезды контролируются телекоммуникационным оборудованием, в которое входят телекамеры или видеорегистраторы, коммутаторы, сервер. В частности, для данного типа эстакады достаточно 50 телекамер. Общая стоимость этого оборудования составляет \$40-50 тыс.

Освещение полос движения эстакады осуществляется светодиодными источниками, например, мощностью 35 ватт со светоотдачей порядка 40 лм/Вт. Ресурс этих источников 11 лет. Источники света не нагреваются. Стоимость одного источника света около \$10. Для освещения объемов эстакады и переходов достаточно 200 светильников. Таким обра-

зом, стоимость светильников составляет \$2000. Стоимость остального электрооборудования, включая святающиеся табло-указатели составляет примерно такую же сумму.

Следует также учесть противопожарное оборудование, эвакуационные сходы, оборудование для мониторинга эстакады и т.п. Общая стоимость этого оборудования для эстакады может составить порядка \$100000.

Оснащение эстакады необходимыми приборами и оборудованием займет не менее месяца и потребует участие около 20 специалистов при выплате им не менее \$100 тыс.

Стоимость геодезических и других вспомогательных работ можно оценить в сумму около \$100 тыс.

В городских условиях каждый этаж необходимо оснащать вытяжками с разрядниками для нейтрализации токсичных компонентов выхлопного газа. Определим эту составляющую.

Основная проблема вентиляционных выбросов из гаражей, паркингов и стоянок в том, что их вентиляция аккумулирует токсичные вещества, образующиеся при работе автомобилей в месте выброса воздуха из вентиляции. Следствием этого является концентрирование выхлопных газов автомобилей внутри тоннеля и вокруг вентиляционных шахт, через которые осуществляется выброс загрязненного воздуха. Наиболее загрязненный выхлоп автомобилей происходит во время запуска двигателя и при его прогреве, т.е. как раз в помещениях гаражей, стоянок и паркингов.

В настоящее время основным и самым распространенным методом нейтрализации вышеуказанного эффекта является метод рассеивания вентиляционных выбросов из тоннелей. Это ведет к образованию значительных загрязненных территорий вокруг вентиляционных шахт.

В отношении суммарного объема выходящих из глушителя легкового автомобиля выхлопных газов в среднем можно ориентироваться на следующую цифру – один литр сжигаемого бензина приводит к образованию примерно 16 кубометров смеси различных газов. При скорости 60-70 км/час на прохождение 1 км трассы автомобилем в среднем расходуется около 0,04 литра бензина и выделяется 0,6 м.куб. выхлопных газов. По одной полосе движения в магистральной-эстакаде в среднем за один час проходит 2000 легковых автомобилей, которые могут выделить в объем магистральной-эстакады до 1200 м.куб. выхлопных газов. На одном этаже магистральной-эстакады двустороннего движения протяженностью 1 км, содержащем 4-е полосы движения и 2-е резервно-технические (буферные) полосы, выделяется в четыре раза больше выхлопных газов – 4800 м.куб.. Полный объем 1 км этажа магистральной-эстакады с учетом резервно-технических полос составляет 45000 м.куб. и в нем выхлопной газ рассеивается. Для ликвидации токсичных компонентов выхлопных газов требуется установить на каждом этаже столько очистных установок, сколько требуется для очистки указанного объема загрязняемого выхлопным газом воздуха.

Известны газоконвертеры «Ятаган» – газоразрядно-каталитические установки для очистки 12000 м.куб./час воздуха с содержанием в нем не более 1000 мг/м<sup>3</sup> органических загрязнений – стоимостью за установку «Ятаган 12,0-1000» \$50 тыс. То есть на этаж потребуется 4 подобные установки, на два этажа – 8 установок (стоимость \$400 тыс.), а на три этажа – 12 установок (стоимость \$600 тыс.)

Установки эффективно работают при содержании вредных примесей в 1 м.куб. воздуха не более 1000 мг. При указанной интенсивности движения на каждом километре одного этажа магистрали-эстакады по максимуму может находиться до 200 автомобилей (до 50 автомобилей на каждой из 4-х полос движения), которые выбрасывают в 1 м.куб. воздуха объема эстакады выхлопного газа не более 400 мг токсичных веществ. А это количество вредных веществ в 2,5 раза меньше предельного значения содержания вредных веществ (1000 мг/м.куб.), которые способны удалить из воздуха.

Таким образом, оснащение двухэтажной магистрали-эстакады с парковочным этажом (три уровня) очистными установками обойдется в сумму порядка \$600тыс.

В результате, затраты на установку и оснащение магистрали-эстакады по удельному показателю составят \$7,850млн.

Стоимость квадратного метра пролетов трех этажей (54000м.кв.) составит \$145, а в пересчете только на восемь полос движения шириной 3 метра каждая (24000м.кв.) – \$330.

В частности, при установке подобной полностью оснащенной трехуровневой магистрали-эстакады на основе стального каркаса на 25 км ее себестоимость составит порядка \$196млн.

Для крупных городов целесообразно по каждому направлению движения ввести дополнительную полосу для надземных автопоездов или электропоездов (аналога метро), а также соответственно буферную полосу, что в значительной степени разгрузит транспортную систему города и составит конкуренцию подземному метро. При этом удельная себестоимость сооружения с учетом наличия на ней дополнительных полос для надземных поездов с учетом себестоимости каждой полосы (\$0,650млн.) возрастет до \$10,5млн.

Масса двухуровневой магистрали-эстакады с восемью полосами движения на основе металлопроката, являющаяся нагрузкой 42 стальных полых колонн диаметром 30см, сечением по стенкам 17600мм.кв., составляет 11059 тонн. То есть на общую площадь колонн-опор по сечению 739200мм.кв. действует 110590000 ньютонов, или один квадратный миллиметр подвергается давлению 150н/мм.кв.. При пределе прочности стали 600н/мм.кв. конструкция имеет примерно 4-кратный запас прочности. На полосах движения обоих уровней магистрали-эстакады указанной конструкции может одновременно находиться в движении до 400 легковых автомобилей массой в среднем по 2 тонны каждая. На парковочном этаже может находиться 660 автомо-

билей. Если учесть их общую массу, которая составит 2120 тонн, то конструкция с дополнительной нагрузкой в виде автомобилей и общей массой около 13179т, подвергаясь максимально возможной нагрузке, сохраняет запас прочности близкий к 3,5.

Следует отметить, что, не противореча имеющимся стандартам и нормам, можно существенно (до 60%) уменьшить массу конструкции и ее себестоимость за счет исключения сталефибробетонного дорожного покрытия, заменив его на новые композитные покрытия из угле– или стеклопластика.

Оценим среднегодовые затраты на эксплуатацию 1 км указанной эстакады.

Основные статьи затрат: дооборудование и переоборудование; уборка; техобслуживание, подача электроэнергии; оплата необходимого персонала.

1. Ежегодно могут быть обновлены табло-указатели, часть светильников, часть телекоммуникационной аппаратуры. Если принять это ежегодное обновление за 10% от стоимости имеющегося оборудования данного типа (\$50000), то ежегодные расходы составят \$5000.

2. Уборка эстакады может проводиться один раз в две недели или месяц в зависимости от времени года с помощью механизмов с разбрызгивателями воды и щетками изнутри и снаружи подобно мойке электропоездов. Расходы на эти операции пренебрежимо малы.

3. Оценка расхода электроэнергии.

3.1. При размещении 160 светодиодных светильников мощностью 35Вт через каждые 50 метров на трех уровнях эстакады и включении их в среднем на 10 часов каждый день для освещения годовые затраты электроэнергии составляют около 20000 кВт•час. При цене электроэнергии \$0,1 за один кВт•час оплата этого расхода электроэнергии составит \$2000.

3.2. При размещении 160 светодиодных табло-указателей мощностью 35Вт через каждые 50 метров на полосах движения в режиме постоянного включения годовые затраты электроэнергии составляют около 50000 кВт•час. При цене электроэнергии \$0,1 за один кВт•час оплата этого расхода электроэнергии составит \$5000.

3.3. При постоянной работе очистителей воздуха общей производительностью 135000 м.куб./час с энергозатратами около 0,12Вт/м.куб. годовой расход электроэнергии составляет порядка 142000 кВт•час. При цене электроэнергии \$0,1 за один кВт•час оплата этого расхода электроэнергии составит \$14200.

4. Кроме вышеуказанного, необходимо учесть оплату персонала, обслуживающего эстакаду. Поскольку практически все работы будут автоматизированы, постольку этот персонал будет состоять из нескольких человек, большинство которых представляет аварийную бригаду. Этот персонал может обслуживать 15-20 километров эстакады. Поэтому годовое содержание этих специалистов, размером около \$100 ты-



сяч, в пересчете на удельный показатель в 1 км сводится к \$10 тысячам.

5. Необходимо учесть также те или иные непредвиденные расходы. Их размер оценим в \$4 тысяч.

Таким образом, общие удельные эксплуатационные расходы за один год в среднем составляют около \$40000.

Для сравнения приведем официальные данные удельной стоимости годовых эксплуатационных расходов для наземной восьмиполосной магистрали в России.

По данным журнала-каталога «Транспортная безопасность и технологии 2005 № 2» («Проблемы безопасности российских автодорог») ежегодно на ремонтно-восстановительные работы 1 километра автодорог, производящиеся раз в пять лет (ремонтируется порядка 10 тысяч километров дорог), расходуется 5 миллионов рублей, или около \$170 тысяч, то есть \$34 тысячи в год. Кроме этого ежегодно на поддержание дорог в надлежащем состоянии в среднем расходуется 13,7 млрд. рублей, или около \$1000 на один километр. За 7 лет эта сумма возросла по меньшей мере на треть.

В среднем же в России в настоящее время на ремонт и содержание дорог при протяженности дорожной сети общего пользования 747 тыс. км ежегодно выделяется порядка \$6 тыс. на 1 километр, что меньше величины аналогичных затрат в Европе в 2,5 раза.

Из этого следует, что ежегодные удельные эксплуатационные расходы на магистраль-эстакаду вполне сопоставимы с

расходами на ремонтно-восстановительные работы для аналогичных наземных магистралей.

Если в городе нагрузка (пропускная способность на магистраль) на магистраль в ближайшие годы по расчетам не превысит 10 тысяч автомобилей, то достаточно будет установить над наземной магистралью один уровень эстакады с четырьмя полосами движения и двумя буферными полосами с организацией указанным образом безостановочного движения с пропускной способностью для одной полосы движения 2000 автомобилей в час. Тогда въезды на надземный уровень и съезды с него на наземную магистраль становятся переездами с наземного уровня на надземный и интегральная пропускная способность магистрали будет более 10000 автомобилей в час.

При этом затраты на монтаж и установку одноуровневой эстакады на стальном каркасе по сравнению с двухуровневой уменьшатся примерно вдвое и составят около \$2,5млн. на один километр. Удельная себестоимость одной полосы движения на эстакаде останется примерно той же, что и для двухуровневой эстакады – \$0,6млн. Средняя скорость движения по надземной магистрали составит порядка 75 м/час.

Известна практика установки одноуровневых эстакад вдоль магистралей и над ними во Вьетнаме. Однако там режим движения на наземной и надземном уровнях остается традиционным, за единственным исключением: направление движения на обоих уровнях устанавливается проти-

воположным. Иначе говоря, к примеру, если по наземному уровню автомобили движутся на юг, то по надземному уровню автомобили движутся на север.

Если же расчеты по величине пропускной способности не оправдаются, то несложно над имеющимся уровнем эстакады смонтировать еще один уровень, увеличив суммарную пропускную способность эстакады до 16 тысяч автомобилей в час.

## Глава 3

Надземные городские сети дорожных магистралей с безостановочным движением и практически неограниченной пропускной способностью.

Настоящее техническое решение относится к области организации автодорожного движения в городе посредством размещения и установки надземных магистралей для движения транспортных средств на разных, но связанных уровнях, в частности, эстакад, или надземных магистралей для движения легковых автомобилей в виде сети магистралей, охватывающей территорию города и его ближайших пригородов.

Известна транспортно-коммунальная система города (полезная модель РФ № 36018). Она включает не менее трех кольцевых, охватывающих городскую застройку, автомобильных дорог и радиальные магистрали, пересекающие их. Над магистралями размещены, по крайней мере, в двух уровнях, имеющие въезды и съезды эстакады. Одна из указанных эстакад предназначена для автомобильного движения, предпочтительно легкового транспорта, а другая – для автомобильного движения. Эстакады имеют размещенные на ней или над ней паркинг, офисы, административные, хозяйственные, многофункциональные сооружения. Эстакады связаны с другими эстакадами, магистралями, кольцевой ав-

томобильной дорогой.

Недостатком этого технического решения является то, что оно не обеспечивает достаточно высокой пропускной способности как для всей сети автодорог, так и для отдельных эстакад. В часы пик велика вероятность образования на различных участках сети пробок и заторов, так как различные уровни движения не связаны между собой и представляют всего лишь дополнительные магистрали с ограниченным числом полос движения. Таким образом, предложенная система магистралей не способна вобрать в себя и пропустить через себя в течение суток несколько миллионов автомобилей крупного города, его пригородов и транзитных автомобилей и может служить лишь вспомогательным инструментом для некоторого снижения напряженности автодвижения, но проблемы перегруженности дорожных сетей автомобилями не решает.

Наиболее близким к предлагаемому техническому решению является система автотранспортных магистралей Москвы (полезная модель РФ № 95338). Эта система содержит радиально расположенные надземные многоярусные магистрали и, по меньшей мере, одну надземную многоярусную кольцевую автомагистраль, причем въезд в мегаполис на надземные автомагистрали осуществляется перед границей мегаполиса с перестроением и движением по развязкам-пандусам, обеспечивающим изоляцию друг от друга потоков индивидуального, грузового и общественного транспорта на,

по меньшей мере, двух ярусах надземной автомагистрали. Первый ярус, содержащий, по меньшей мере, четыре полосы движения, предназначен для проезда грузового и общественного транспорта с остановками в транспортно-пересадочных узлах, а второй ярус, содержащий, по меньшей мере, восемь полос движения, предназначен для легкового транспорта, кольцевая надземная автомагистраль пересекает все радиальные надземные автомагистрали, радиальные надземные автомагистрали пересекаются между собой. В единой сети надземных автомагистралей выполнены развязки в местах пересечений для общественного, грузового и легкового транспорта. В местах пересечений вблизи станций метро и в других местах радиальных и кольцевой автомагистралей размещены транспортно-пересадочные узлы. Несущие конструкции надземных автомагистралей выполнены с возможностью обеспечения эксплуатации наземного транспорта в процессе монтажа надземных автомагистралей.

Недостатком этого технического решения является то, что оно не обеспечивает достаточно высокой пропускной способности как для всей сети автодорог, так и для отдельных надземных магистралей. В связи с этим при пиковых нагрузках, то есть при превышении их максимальной пропускной способности числом стремящихся на них автомобилей, на них образуются, так же как и на наземных магистралях в подобных случаях, заторы и пробки. Таким образом, не обеспечивается непрерывное скоростное движение

транспортных средств в сети магистралей.

Задачей предлагаемого технического решения является обеспечение непрерывного перемещения в пределах города и его пригородов практически неограниченного количества автомобилей с высокой скоростью в сложившихся для города направлениях, как правило, из одних секторов города и его пригородов в другие в течение десятков минут. Задачей является обеспечение перемещения автомобилей беспрепятственно из пригорода в город утром и вечером из города в пригород, а также создание условий во избежание пробок на всех участках сети надземных транспортных магистралей наиболее дешевыми и эффективными средствами; повышение пропускной способности сети до максимально возможного уровня, создание условий для безостановочного движения в сети надземных магистралей, а также использование в сети надземных магистралей города только экологически чистых участков магистралей.

Техническим результатом технического решения является: высокая пропускная способность всех участков сети надземных магистралей – 16 тысяч транспортных средств в час при двух этажах, восьми полосах движения, четырех буферных полосах, межэтажных переездах в надземной магистрали с двусторонним движением; возможность продолжать движение, обходя места ремонта или аварий на тех или иных участках надземных магистралей; возможность въезжать, например, с улицы на парковочную площадку или сра-

зу на верхний этаж надземной магистрали, и съезжать соответственно на любой или с любого этажа надземной магистрали; возможность удержания непрерывного движения транспортных средств на скорости 30 – 90 км в час в сети надземных магистралей; обеспечение однотипности конструкций всех участков многоэтажных надземных магистралей для их быстрой сборки, установки или трансформирования; обеспечение проводки и разводки многоуровневых надземных магистралей практически над любым пространством, в особенности над дорожными и железнодорожными трассами; обеспечение установки надземных магистралей как для двустороннего движения, так и для одностороннего движения; обеспечение установки надземных магистралей двустороннего и одностороннего движения над перегруженными городскими и пригородными трассами любого типа или рядом с ними; существенное повышение степени безопасности дорожного движения, понижение шума и загрязнения воздуха, многократное повышения ресурса всех участков сети надземных магистралей, а также их существенное удешевление как по себестоимости, так и при эксплуатации.

Технический результат достигается тем, что сеть транспортных магистралей для крупных городов и их пригородов, содержит надземные магистрали, распределенные по территории города и его пригородов с охватом всех секторов города и пригородов, насыщенных автомобилями, а также с вы-



полнением развязок в единой сети надземных магистралей в местах их пересечения, при этом надземные магистрали установлены предпочтительно над наземными магистралями и выполнены из типовых секций с возможностью трансформации магистралей – с увеличением или уменьшением их этажности, надземные магистрали предназначены для однородных транспортных средств, например, легковых автомобилей, и содержат, по крайней мере, два этажа, надземные магистрали снабжены переездами между этажами, а также парковочными площадками, надземные магистрали связаны с примыкающей к ним дорожной сетью въездами с дорог или улиц на различные этажи надземной магистрали, а также съездами с нее на боковые дороги или улицы, причем средняя пропускная способность примыкающей к магистрали дорожной сети согласована с пропускной способностью надземной магистрали и не превышает ее среднее значение.

Таким образом, транспортные потоки разделяются – один в виде легковых автомобилей направляется в сеть надземных магистралей, другой – в виде грузового и общественного транспорта – остается на наземных магистралях, причем пропускная способность сети надземных магистралей может варьироваться в широких пределах за счет возможности переезда транспортных средств с одной полосы движения на другую и с одного этажа на другой по внешним или внутренним переездам и их перераспределением по всем этажам надземной магистрали. Кроме того, возможно при необ-

ходимости наращивание этажей эстакады по вертикали или уменьшение числа этажей с использованием типовых секций и блоков. Непрерывность движения в сети надземных магистралей, несмотря на возможные помехи движению на полосе в виде аварий, ремонтных работ и т.п., обеспечивается объездом этих мест с помощью буферных полос или с помощью переезда транспортных средств на свободные полосы движения на том или ином этаже[1,5].

Таким образом, удастся обеспечить беспрепятственное перемещение практически неограниченного числа легковых автомобилей (90% от всего количества автомобилей в среднем) без остановки и с высокой скоростью по всем основным направлениям в городе и его пригородах за счет использования в сети новых дорожных сооружений в виде надземных магистралей в несколько этажей с переездами между этажами и, тем самым, как бы развернуть дорожное полотно невширь, что, как правило, не позволяет уже сложившаяся городская застройка, а по вертикали, связав все уровни на этой вертикали в единую дорожную систему и распространив ее по всем секторам города и его пригородов.

При этом согласование пропускной способности отдельных участков сети надземных магистралей с пропускной способностью прилегающих к ним дорог и улиц не является затруднительным, поскольку, зная число этих подъездов к тому или иному участку сети надземных магистралей и их пропускную способность, а также зная примерное

число транзитных автомобилей, проходящих в часы пик по данному участку сети, и аналогичным образом, зная число съездов с участка магистрали на прилегающие дороги и улицы, нетрудно согласовать максимальное число автомобилей, пропускаемых надземной магистралью, с максимальным числом автомобилей, способных на нее въехать и съехать с нее.

С учетом этого на стадии проектирования выбирается этажность надземной магистрали и, вместе с тем, число полос движения на ней, которое может доходить до нескольких десятков даже при не слишком большой ее высоте, например, высота пятиэтажной магистрали двустороннего движения при ее ширине в 12-ть метров составляет 17 метров (высота пятиэтажного дома), а число полос движения равно 20-ти.

Для обеспечения непрерывности движения по надземной магистрали и плавного подъезда к ней автомобилей со стороны прилегающих дорог, а также плавного съезда с нее на прилегающие улицы предусматривается монтаж соответствующего этому максимальному значению подъезжающих автомобилей количества въездных и съездных участков, а также развязок, особенно в местах пересечения надземных магистралей, а также других узловых пунктах транспортной сети города.

Указанный подход применим к любому крупному городу, независимо от расположения магистралей, которое в ос-

новном сводится к радиально-кольцевой структуре, как в Москве или Париже, или системе параллельных магистралей, пересекающихся под тем или иным углом с другой системой параллельных магистралей, как, например в Нью-Йорке.

Максимальная пропускная способность полосы движения магистрали со светофорами (с перекрестками) составляет не более 800 автомобилей в час, а в среднем – около 500 автомобилей в час, что подтверждается опытно-измерительными данными. То есть за час одна шестиполосная магистраль со светофорами может пропустить максимально 4800 автомобилей, а в среднем пропускает около 3000 автомобилей; за сутки магистраль максимально может пропустить около 115 тысяч автомобилей, а в среднем – около 72 тысяч автомобилей.

16 магистралей могут максимально пропустить за час не более 77 тыс. автомобилей, а в среднем за час – около 48 тыс. автомобилей. То есть за сутки, например, 16 радиальных магистралей со светофорами могут максимально пропустить не более 1,85 млн. автомобилей, а в среднем пропускают около 1,15 млн. автомобилей.

По известной статистике в среднем за сутки в любой мегаполис въезжает от нескольких сотен тысяч до более миллиона иногородних автомобилей. Увеличение числа автомобилей до больших величин приводит в часы пик к часовым заторам и пробкам на радиальных магистралях, поскольку их

пропускная способность в часы пик становится ниже числа стремящихся на них автомобилей.

Таким образом, верхним порогом для каждой шестиполосной радиальной магистрали со светофорами является пропуск 4800 автомобилей в час, и когда число автомобилей на этой магистрали приближается к этому значению – становятся неизбежными заторы и пробки, которые регулярно проявляются в часы пик. Верхним порогом для всех 16-ти радиальных магистралей со светофорами в сумме, или интегрально, является 1,85 млн. автомобилей в сутки, и когда число автомобилей на этих магистралях приближается к этому значению – становятся неизбежными заторы и пробки на всех радиальных магистралях, которые регулярно проявляются в часы пик.

Известны попытки нормализации дорожного движения. Однако все эти традиционные способы страдают теми или иными недостатками и не могут быть признаны эффективными. Рассмотрим эти способы и выясним, почему они не приводят к нормализации движения, то есть к отсутствию в мегаполисах заторов и пробок.

Во-первых, это может быть административное ограничение въезда автомобилей. По этому пути пошла городская администрация некоторых городов мира, например, Сингапура, Стокгольма. Однако другие города не считают этот путь приемлемым, так как купленные городскими жителями автомобили большей частью как бы изымаются из обращения

и это не вызывает в жителях энтузиазма. Тем не менее, частично, эти меры используются в каждом мегаполисе.

Во-вторых, возможно расширение магистралей до 10 и более полос движения. Однако с учетом стоимости земли в мегаполисах, необходимости сноса домов и т. п. этот путь чрезвычайно затратен. Вместе с тем, несколько увеличивая пропускную способность магистралей за счет увеличения числа полос движения, он не спасает от заторов и пробок, которые все равно возникают на магистралях при превышении, как было указано выше, определенного для магистралей со светофорами с соответствующем числом полос движения порога пропускания автомобилей, который не очень высок. Например, для десятиполосной магистрали со светофорами этот порог составляет всего лишь 8000 автомобилей в час. Причем прирост пропускной способности по сравнению с шестиполосной магистралью, несмотря на колоссальные затраты, составляет всего 40%. Тогда как в часы пик в каждом мегаполисе число автомобилей, стремящихся на данную магистраль, может быть намного больше.

В-третьих, возможно строительство на всех радиальных магистралях подземных и надземных переходов для пешеходов и поперечных эстакад для пропускания через магистрали поперечных транспортных потоков. В этом случае старт-стоповый (светофорный) режим ликвидируется и предельная пропускная способность в 800 автомобилей в час для одной полосы движения теоретически может быть уве-

личена до возможного максимума – 3000 автомобилей в час (реальная пропускная способность составляет порядка 2000 автомобилей в час). Эта пропускная способность характерна для безостановочного движения со скоростью 30-100 км/час. Таким образом, средняя пропускная способность шестиполосной магистрали возрастает с 3000 автомобилей в час до 12000 автомобилей в час. Однако это мероприятие опять же не спасает от пробок. Как показало установление подобного (без светофоров) режима на Третьем транспортном кольце (ТТК) в Москве, он отнюдь не явился препятствием для каждодневного возникновения на ТТК пробок и заторов.

В-четвертых, возможно внедрение на дорогах адаптивного регулирования (умные светофоры), что используется во многих мегаполисах мира. Однако затраты на внедрение адаптивного регулирования велики, а дает оно прирост пропускной способности дорог только в среднем около 20%.

Возможны также и иные варианты нормализации дорожного движения в виде сквозных эстакад, в том числе и по крышам домов (технология Р. Липпа), дешевого метрополитена, скоростных трамваев, как это сделано в ряде городов США и Южной Кореи, и т.д. Однако везде в часы пик все равно образуются пробки и заторы, так как жители мегаполисов не хотят отказываться от использования купленных ими комфортабельных автомобилей. А, как это было показано выше, при достижении определенного для каждой ма-

гистралах порога пропускания автомобилей на ней неизбежно возникают пробки и заторы.

В среднем ежегодно в мегаполисах строительство дорог и развязок увеличивает их протяженность или число полос движения примерно на 2-3% в год и в среднем на столько же растет их пропускная способность, адаптивное регулирование может увеличить пропускную способность дорожной сети на 10 – 20% на неопределенное время, а число автомобилей ежегодно возрастает на 7-8%.

Это означает, что вышеуказанные меры по увеличению пропускной способности дорожной сети существенно отстают от ежегодного прироста парка автомобилей, который все более и более не уместается в отведенных ему рамках. Выправить положение в крупных городах может только быстрое увеличение пропускной способности магистралей в разы, а не на единицы процентов.

Однако одного роста пропускной способности дорожной сети недостаточно для полной нормализации движения на магистралях, поскольку и при высокой потенциальной пропускной способности магистралей заторы и пробки могут возникнуть, если по целому ряду причин, например, дорожный ремонт, аварии, недостаточное число съездов с магистрали и т.п., падает скорость движения автомобилей до 5-15 км в час. А уменьшение скорости транспортного потока при постоянном притоке автомобилей на трассу автоматически ведет к падению реальной пропускной способности на дан-



ном участке и образованию сначала затора, а затем пробки.

Поэтому следует создать условия, при которых движение транспортного потока не замедлялось до низких величин, при которых начинают возникать заторы, то есть, чтобы скорость транспортного потока не падала бы ниже 30 км в час.

Из всего этого следует, что, во-первых, необходимо увеличить пропускную способность основных магистралей, по крайней мере, до значения, большего чем в часы пик, во-вторых, постоянно удерживать режим безостановочного движения автомобилей без резкого падения скорости транспортного потока, по крайней мере, не ниже 30 км в час, и в-третьих, обеспечить согласование пропускной способности всех участков магистральной сети с пропускной способностью прилегающих к этим участкам въездов, так же как и съездов с этих участков.

Именно этими свойствами для нормализации дорожного движения в крупных городах и их пригородах при большом скоплении автомобилей должна обладать новая магистральная сеть. Без них решение проблемы заторов и пробок возможно только административными методами.

Выше мы показали, что предлагаемое техническое решение соответствует этим требованиям. С его использованием ситуация с возникновением пробок в часы пик в крупных городах мира может коренным образом и быстро измениться в лучшую сторону.

Сеть надземных магистралей с полосами движения, раз-

вернутыми по вертикали в несколько этажей, или уровней с переездами между ними, позволяет автомобилям без остановки проезжать с этажа на этаж, полностью загружая имеющиеся полосы движения, которые могут быть многочисленными, позволяет автомобилям объезжать не только по соседней полосе движения, но и по другим этажам место аварии или ремонта, чем возможность затором и пробок сводится, фактически, к нулю.

Предлагаемая магистральная сеть позволяет пропускать по одной полосе движения в среднем 2000 автомобилей в час со скоростью 30-90 км в час. Даже при минимальном количестве уровней движения при наличии только двух этажей, надземная магистраль двустороннего движения с четырьмя полосами движения в одну сторону и четырьмя полосами движения в другую может пропустить за час около 16 тысяч автомобилей, а не 3000 автомобилей в час, как обычная шестиполосная магистраль со светофорами, что равноценно увеличению числа обычных полос движения на магистралях со светофорами почти в четыре раза, или расширению дорожного полотна в четыре раза.

Режим безостановочного движения легковых автомобилей по надземным магистралям сети в пределах 30-90 км в час поддерживается автоматически без допущения внезапного падения скорости не только за счет предварительного согласования пропускной способности соответствующего участка сети надземных магистралей и пропускной способ-

ности прилегающих к этому участку подъездов, но и, в экстраординарных случаях, за счет ограничения въезда автомобилей на надземную магистраль на тех участках, на которых скорость движения падает ниже 30 км в час, с помощью объединенной системы датчиков скорости транспортного потока и въездных светофоров.

Следует отметить, что при необходимости несложно нарастить надземную магистраль, увеличив число этажей до 3-х или 4-х или расширить ее, введя несколько дополнительных полос движения на этаже. Несложно также разобрать надземную магистраль, смонтированную из типовых блоков с применением в основном операции свинчивания, и перенести ее на другое место. Шум из закрытых надземных магистралей не выходит наружу, выхлопные газы внутри нейтрализуются очистными установками и не попадают в атмосферу города, то есть новая сеть надземных магистралей является экологически чистой.

Кроме того, закрытые от внешней среды полосы движения не подвержены воздействию дождя и снега, находятся примерно в одном температурном режиме и поэтому практически не разрушаются от воздействия внешней среды, в отличие от обычного дорожного покрытия наземных магистралей, то есть ресурс надземных магистралей по сравнению с наземными увеличивается многократно. В дополнение к этому надземная магистраль как бы накрывает сверху наземную магистраль сверху, защищая ее дорожное покрытие

в значительной степени от снега и дождя.

При наличии над наземной магистралью надземной магистрали, практически все легковые автомобили из смежных с этим участком сети надземных магистралей секторов могут «уйти» в нее, а наземная магистраль может быть предоставлена для движения грузового и общественного транспорта. Таким образом, улицы и дороги, прилегающих к надземным магистралям секторов в значительной степени освобождаются от «ушедших» в надземную магистраль легковых автомобилей и движение по ним становится более свободным.

Сеть надземных магистралей с внешними и внутренними въездами-съездами обеспечивает возможность въезда автомобилей для парковки непосредственно снизу на верхнюю площадку надземной магистрали или на ее крылья. В этом случае на одном километре двухэтажной надземной магистрали может быть припарковано порядка 1000 автомобилей, причем себестоимость одного квадратного метра парковочного места составит около \$100.

При продлении сети надземных магистралей за черту города на 20-50 км обеспечивается беспрепятственный и быстрый въезд в город или выезд из него практически любого количества легковых автомобилей.

Что касается возможности беспрепятственного въезда на надземную двухэтажную магистраль легковых автомобилей, то широко развитая сеть поперечных городских улиц и их избыточное, как правило, количество вполне обеспечивают

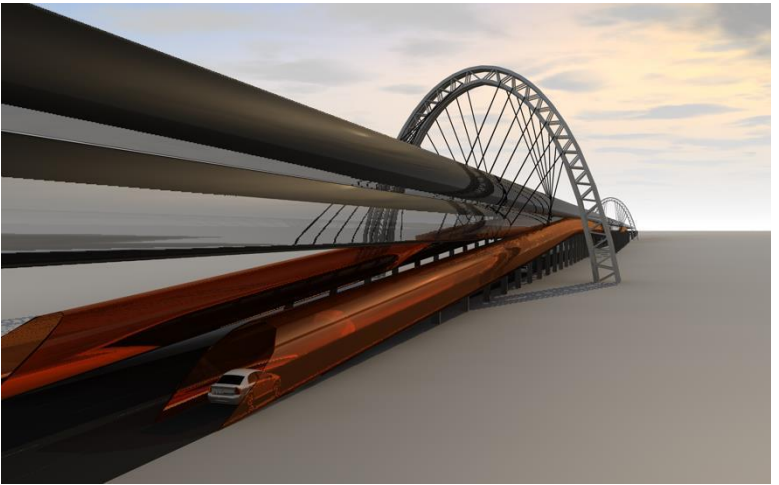
въезд на надземную магистраль и съезд с нее 16 тысяч автомобилей в час. Для этого необходимо иметь число подъездных дорог и соответственно полос движения с пропускной способностью до 16 тысяч автомобилей в час. При средней пропускной способности одной полосы движения на дорогах со светофорами 500 автомобилей в час, например, на 10 км надземной магистрали требуется 32 примыкающих полос движения – по 16-ть полос с каждой стороны надземной магистрали, тогда как число полос движения прилегающих улиц и дорог к радиальной магистрали, как правило, в несколько раз больше. То же относится и к съездам. И даже в случае недостатка подъездных или съездных участков безостановочное движение по надземным магистралям все равно может поддерживаться без сбоев, например, путем временного ограничения въезда автомобилей на магистраль при их переизбытке.

Радиальные надземные магистрали целесообразно для обеспечения возможности быстрого переезда с одного конца города на другой, минуя его центральную часть, пересечь, в зависимости от размеров города, несколькими кольцевыми надземными магистралями.

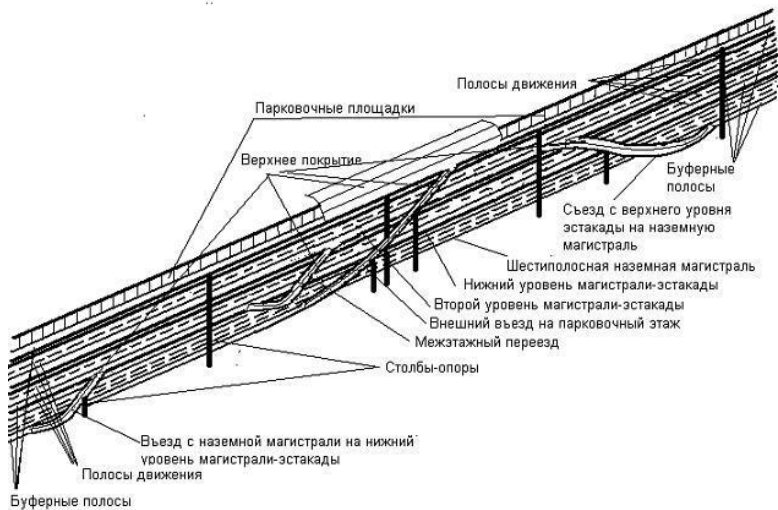
Нами предложена и запатентована в нескольких вариантах простая и эффективная конструкция, которая вполне удовлетворяет вышеуказанным условиям [1, 2]. Один из вариантов, показанный ниже, представляет собой в отношении межэтажных переездов использование уплощен-

ной волнообразной полосы в сочетании со смежными одноуровневыми полосами. Он обеспечивает переезды автомобилей внутри объемной эстакады. Другой вариант схематично представлен ниже. Он представляет собой в отношении межэтажных переездов использование внешних переездных участков. Этот вариант обеспечивает переезды автомобилей с боков объемной эстакады. При этом надо отметить, что по бокам и сверху магистраль-эстакада закрывается легкой и негорючей оболочкой, а внутри оснащается конвертерами-нейтрализаторами загрязнений, поступающих в воздух ее объема от автомобилей [1].





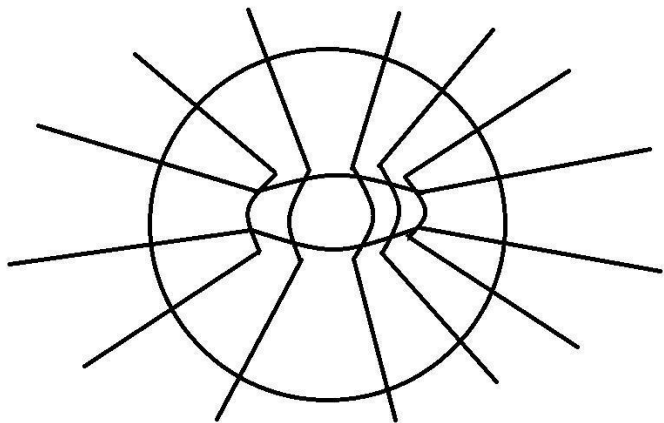




Таким образом, конструкция многоуровневой магистрали-эстакады, как минимум, в два этажа с подобной конфигурацией полос движения и/или с межэтажными переездами, позволяет автомобилям без остановки переезжать с этажа на этаж, полностью загружая имеющиеся полосы движения, и предоставляя возможность автомобилям объезжать по другому этажу или по резервно-технической (буферной) полосе место аварии или ремонта, не прекращая движения с высокой скоростью (то есть устраняется возможность возник-

новения пробок). В этом случае, по одной полосе движения можно пропускать в час в среднем 2000 легковых автомобилей со скоростью 60-100 км/час. То есть при наличии у двухэтажной магистрали-эстакады двустороннего движения 4-х полос движения и двух резервно-технических полос на каждом этаже (всего восемь полос движения и четыре буферные полосы) ее средняя пропускная способность составит 16 тысяч легковых автомобилей в час, а не 3000 автомобилей в час, как это существует в настоящее время на каждой городской магистрали со светофорами (с перекрестками). Ширина такой магистрали-эстакады без учета возможных внешних межэтажных проездов – 18 метров.

Режим безостановочного движения автомобилей по магистрали-эстакаде в пределах 40 – 90 км/час при форс-мажорных ситуациях также может поддерживаться автоматически за счет ограничения въезда автомобилей на тех участках, где скорость движения начинает падать ниже предела 40 км/час с помощью объединенной системы соответствующих датчиков средней скорости транспортных потоков и въездных светофоров [1,5].



Введение одной радиальной двухэтажной восьмиполосной магистрали-эстакады над наземной магистралью увеличивает пропускную способность для автомобильных потоков данного городского сектора с учетом наземной магистрали в шесть раз, что эквивалентно строительству пяти аналогичных существующей наземных магистралей.

Чтобы обеспечить согласование числа движущихся легковых автомобилей по радиальным магистралям-эстакадам с числом легковых автомобилей на кольцевых магистралях, необходима установка, соответствующего числа кольцевых магистралей-эстакад с общей пропускной способностью, соответствующей пропускной способности радиальных эстакад-магистралей. Если учесть, что большая часть автомоби-

лей на радиальных магистралях стремится перемещаться в рамках своих секторов или выезжает (въезжает) в загородные регионы в направлении каждой радиальной магистрали, то пропускная способность кольцевых магистралей-эстакад может быть соответственно понижена до уровня, достаточного для организации переезда автомобилей из одного сектора в другой.

# Глава 4

Технические решения, обеспечивающие безостановочное движение автомобилей по действующим магистралям (без пробок).

Несмотря на высокую стоимость работ по регулированию движения на магистралях, проблема возникновения пробок и заторов на них остается не решенной, что подтверждает ежедневная практика автомобильного движения. Применяемые методы регулирования транспортных потоков на городских магистралях в условиях существенного повышения плотности движения, вызванного значительным приростом числа автомобилей, перестали быть эффективными.

Выше об этих методах регулирования было сказано подробнее и были выяснены причины их неэффективности.

В теории, рассматривающей движение транспортных потоков, до сего времени используется гидродинамическая аналогия – модель Лайтхилла-Уизема. В своей классической работе (Lighthill M.J., Whitham G.B., Proc. R. Soc. A 229, 317 (1955)) они писали: «...Основная гипотеза теории состоит в том, что в любой точке дороги расход (автомобили в час) есть функция плотности (автомобили на милю)...». «На основе этого и еще ряда допущений и последующего обобщения было получено уравнение Бюргерса, которое можно рассматривать как скалярное одномерное уравнение На-

вье-Стокса для несжимаемой жидкости с единичной плотностью», отмечает Семенов В.В. [9].

Один из представителей отечественной науки о транспортных потоках Афанасьев М.Б. также пишет: «...движение плотного транспортного потока по улице или дороге напоминает движение воды в канале... канал определенного сечения может пропустить вполне определенное количество воды в единицу времени. Если мы хотим пропустить через канал большее количество воды, то должны увеличить его сечение. Нечто подобное происходит и с транспортным потоком, движущимся по своему каналу – улице или дороге. Проезжая часть определенной ширины может пропустить вполне определенное количество автомобилей, и если мы хотим увеличить ее пропускную способность, то должны расширить дорогу... Эта аналогия дала специалистам основание применить для изучения закономерностей транспортных потоков законы движения жидкости. Такая модель, правда, с определенными ограничениями позволяет проводить важные исследования и решать ряд практических вопросов по регулированию движения.» [10].

Однако модель «жидкости на дороге» имеет границы до определенных скоростей и плотностей. Затем происходит «фазовый переход», и эта модель перестает работать. Приходится вводить еще две модели – свободный поток и перемещающиеся пробки. Возникает вопрос: «Какие параметры определяют эти фазовые переходы?». Например, для поня-

тия «агрегатное состояние вещества» определяющим параметром является температура. Для гидродинамических переходов – скорость потока и т.п. Для транспортных потоков этот вопрос остается открытым [9].

Ученые Национального исследовательского центра Лос-Аламоса (Los Alamos National Lab. – LANL) выделяют следующие паттерны транспортного потока.

Стадия 1. Пока дорога не загружена, автомобилисты движутся на удобной им скорости, свободно переходя на соседние полосы движения. На этой стадии автомобили сопоставимы с потоком частиц, имеющих большую свободу в своем перемещении.

Стадия 2. Как только дорога становится переполненной, автомобилисты внезапно теряют большую часть свободы перемещения и вынуждены двигаться уже как часть всеобщего транспортного потока, согласовывая с ним свою скорость. При этом они уже не имеют возможности свободно менять полосу движения. Эта стадия, подобная потоку воды, называется «синхронизированным» потоком.

Стадия 3. При очень большом числе автомобилей в потоке движение приобретает прерывистый характер (режим «stop-and-go»). На этой стадии транспортный поток можно уподобить потоку замерзающей воды, автомобили становятся на какой-то промежуток времени как бы «приклеенными» к одному месту дороги.

Таким образом, в теории транспортных потоков послед-

ний рассматривается как поток жидкости или газа. Поэтому понятие «фазового перехода» в транспортном потоке введено по аналогии с фазовыми переходами в жидкостях – превращение пара в воду или воды в лед.

Семенов В.В. поясняет: «Объяснение же момента и динамики смены фазы в транспортном потоке, по аналогии с тем как это происходит в природе, на сегодняшний день пока нет. Иными словами, фазовые переходы – это качественные скачкообразные изменения в скорости и плотности транспортных единиц в потоке. Эти изменения возникают локально и распространяются волнообразно по потоку. В результате поток превращается в «желе». Такое состояние может сохранять достаточно долго, час или два. Возникает чаще у въездов-съездов на автострадах. Эти явления не описываются ни одной из существующих математических моделей, а только лишь реалистично воспроизводится на имитационных моделях клеточных автоматов. Поэтому механизм фазовых переходов, если они существуют в реальности, а не просто являются красивой классификацией, до сих пор не понятен [9].

Таким образом, методы регулирования транспортных потоков ориентируются на установление определенного порядка в рамках складывающихся на магистралях дорожных ситуаций с целью улучшения этих ситуаций. И этот порядок основывается на гидродинамической модели транспортного потока, которая, как было отмечено выше, не является адек-



ватной для всех дорожных ситуаций и, в частности, не работает при уплотнении транспортного потока. Как результат, непреходящие пробки на магистралях больших городов.

В рамках предложенного нами подхода решение проблемы пробок рассматривается в иной плоскости – в плоскости сохранения, точнее, формирования и сохранения режима транспортного потока, соответствующего указанной выше стадии 1, то есть стадии свободного потока. Определенный тип регулирования транспортных потоков может сформировать такую транспортную ситуацию, при которой уплотнение транспортного потока и образование заторов и пробок в силу этого уплотнения не возникает. То есть предлагается блокировка перехода стадии 1 в стадии 2 и 3. Иначе говоря, предлагается формировать и сохранять режим дорожного движения на магистрали, при котором автомобилисты движутся на скорости, удобной для перехода на соседние полосы движения, то есть все время удерживать такую плотность транспортного потока, при которой автомобили располагаются при движении достаточно далеко друг от друга и обеспечены пространством для маневра.

Конечно, существуют и другие причины для образования пробок, например, авария, в результате которой образуется сужение трассы, что также приводит к образованию пробки. Тем не менее, и эта проблема так же является вполне решаемой в рамках предложенной новой методики регулирования, так как введение резервно-технической (буферной) полосы

только для въезда-съезда автомобилей позволяет использовать ее и для объезда мест аварий во многих случаях, поскольку аварии редко перекрывают все полосы трассы.

Вернемся, однако, к предлагаемым конкретным методам регулирования транспортных потоков, с помощью которых формируется такая транспортная ситуация, при которой уплотнение транспортного потока и образование пробок в силу этого уплотнения не возникает.

Формировать и удерживать благоприятный режим движения на магистрали, или стадию 1 свободного потока можно при определенной доработке на основе уже несколько десятков лет известной методики ramp metering [3], в соответствии с которой при чрезмерном уплотнении движения на отдельном участке дороги производится теми или иными способами ограничение въезда на этот участок автомобилей.

Предложенная нами модификация этой методики сводится к следующему. На всех въездах на магистраль устанавливаются светофоры, управляемые контроллерами по программе, которая разрешает въезд только при интегральной скорости транспортного потока, например, в интервале 60-100 км/час, данные о скорости транспортного потока постоянно поступают на контроллер, например, с установленных здесь же радаров. Сразу же при выходе скорости транспортного потока за нижний предел, контроллер дает команду на включение запрещающего въезд на магистраль сигнала светофора. Сигнал светофора переключается на разреша-

ющий только при наборе транспортным потоком скорости, близкой к верхнему пределу, например, 90 км/час (в зависимости от расположения трассы и времени эти интервалы могут быть различными, например, 30 – 70 км/час, 40 – 100 км/час). Этим самым в указанные выше стадии 2 (синхронизированный поток) и 3 (режим «stop-and-go») транспортный поток не попадает и возникновение пробок в зависимости от уплотнения потока и соответствующего падения его скорости не происходит.

Предложенный подход вместе с тем позволяет за счет выбранного интервала скоростей достигнуть, как это будет показано ниже, максимально возможной в данных условиях пропускной способности каждой полосы движения вместе с возможностью для каждого автомобиля менять полосы движения, что в условиях, например, часто расположенных въездов на магистраль и съездов с нее в городе, является необходимостью.

Дополнительно к этому смежная с въездными и съездными участками магистрали полоса резервируется как буферная, то есть используется только для въезда и съезда автомобилей, а также для объезда мест аварий или ремонта. Это решение позволяет, по крайней мере, снизить вероятность образования пробок из-за аварий до минимального предела, а также избежать пробок на магистрали у мест съезда автомобилей с нее, так как автомобили перед съездом с магистрали заранее переезжают на эту резервно-техническую полосу и

не создают помех другим автомобилям на действующих полосах движения.

Приведем выдержку из статьи Афанасьева М.Б «Транспортный поток», чтобы показать очевидную неадекватность традиционного гидродинамического подхода для уплотненного движения транспортных потоков, как это было отмечено Семеновым В.В.[9].

«...Отметим, что в соответствии с традиционной теорией транспортных потоков, ориентированной на гидродинамическую модель, транспортный поток можно характеризовать тремя основными параметрами: интенсивностью  $N$ , средней скоростью  $V$  и плотностью  $D$ . Эти параметры связаны основным уравнением транспортного потока:  $N = DV$ .

Графически это уравнение представляет собой основную диаграмму транспортного потока, общий вид которой показан на рис. 1.

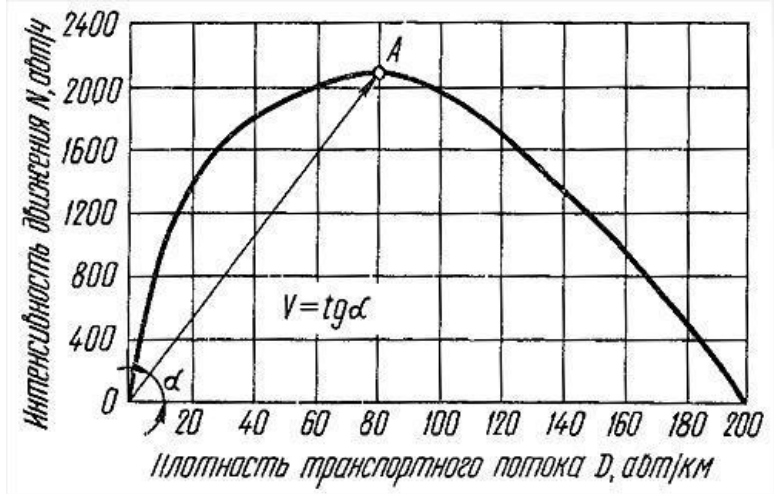


Рис. 1. Основная диаграмма транспортного потока.

Пользуясь уравнением и диаграммой, можно определять характеристики транспортного потока. Так, средняя скорость выражается через тангенс угла наклона прямой, соединяющей начало координат с точкой, координаты которой характеризуют определенную интенсивность и плотность ( $N/D$ ). Максимально возможная при данных условиях интенсивность движения, как это следует из диаграммы, достигается при определенной плотности транспортного потока (точка А на диаграмме) и называется пропускной способностью полосы движения или дороги в целом. Характер-

но, что при плотности потока, большей, чем в точке А, интенсивность движения снижается. Объясняется это тем, что при большой плотности движения, часто возникают заторы, снижается скорость и это приводит к уменьшению количества автомобилей, проходящих в единицу времени через какое-либо сечение или участок дороги. Из основной диаграммы и уравнения транспортного потока следует очень важный для регулирования движения вывод: в тех случаях, когда возникает потребность пропустить по дороге максимально возможное количество автомобилей, необходимо установить с помощью знаков определенный режим скорости, который обеспечивает наибольшую интенсивность» [10].

В.В. Семенов и ряд указанных выше специалистов США показали, что гидродинамическая модель неприменима для движения транспортных потоков высокой плотности, поэтому, на наш взгляд, используемые общие понятия, определения и уравнения, приведенные выше, не могут адекватно описывать и объяснять все ситуации в транспортных потоках.

В связи с этим пришлось ввести, на наш взгляд, более адекватную модель движения транспортного потока, которую и приведем ниже.

Рассмотрим процесс формирования транспортных потоков на магистралях без светофоров (без регулируемых перекрестков) [5].

Водитель, двигаясь с определенной скоростью по поло-

се движения, соблюдает дистанцию безопасности. Ее протяженность зависит от скорости движения и определяется из следующего соотношения:

$$l_{дб} = t_з \cdot v + v^2/50,$$

где  $t_з$  – время задержки, то есть время реакции водителя на изменение окружающей обстановки;  $v$  – скорость автомобиля.

Если окружающая обстановка для водителя является стабильной и не беспокоит его, то, как показывает опыт, в среднем  $t_з$  составляет около 0,5 сек, что характерно при стабильном движении автомобилей по выбранным им полосам движения значительное время, например, на междугородних магистралях-хайвеях со скоростью до 100 км/час.

При снижении скорости за предел в 30км/час, например, при повышении плотности транспортного потока, автомобили сближаются, появляется своего рода теснота, которая увеличивается с уменьшением скорости. Обстановка на дороге становится более сложной и время задержки увеличивается. Опыт показывает, что в этом случае  $t_з$  увеличивается до 1 сек.

При высоких скоростях движения, начиная от 90-100 км/час, напряжение водителя также увеличивается, так как опасность возрастает, и  $t_з$  снова увеличивается до 1 сек.

Однако время задержки 0,5 секунды сохраняется при скоростях автомобиля от 30км/час до 90-100 км/час только при стабильном движении автомобилей, без «перемешивания»

потока, то есть без частых смен автомобилями полос движения. А это «перемешивание», как правило, происходит в городских условиях при наличии регулярно расположенных, частых въездов на магистраль и частых съездов с нее. Характерным примером этого является «Третье транспортное кольцо» (ТТК) Москвы. В этом случае ситуация для водителя является сложной и время задержки составляет около 1 секунды.

Время реакции водителя  $t_z$ , конечно, зависит от опытности и квалификации водителя, но в среднем оно таково.

Показатель  $v^2/50$  учитывает разброс тормозных систем автомобилей.

Тормозной путь автомобиля  $st = v^2/2a$ , где  $a$  – отрицательное ускорение в м/сек<sup>2</sup>. По техническим требованиям для современных транспортных средств,  $a$  должно быть не меньше 5 м/сек<sup>2</sup>. Допустимый разброс имеет порядок 10%. Возьмем в качестве примера худший вариант – автомобиль, идущий впереди, отрегулирован при торможении на  $a = 5,5$  м/сек<sup>2</sup>, а следующий за ним автомобиль отрегулирован на  $a = 4,5$  м/сек<sup>2</sup>. Тогда, если один автомобиль, идущий со скоростью 25 м/сек, пройдет при торможении  $v^2/2a = 625/9$ , другой автомобиль пройдет путь  $v^2/2a = 625/11$ . Разность этих двух отрезков будет такова:  $\Delta s = v^2/9 - v^2/11 = (11v^2 - 9v^2)/99 = 2v^2/99 \sim v^2/50$  (м). Или  $\Delta s = v^2/2a_1 - v^2/2a_2 = v^2(a_2 - a_1)/2a_1 \cdot a_2$ . При  $a_1 = 4,5$  м/сек<sup>2</sup> и  $a_2 = 5,5$  м/сек<sup>2</sup>  $\Delta s = v^2(5,5 - 4,5)/2 \cdot 24,75 = v^2/49,5 \approx v^2/50$  (м).



Например, при  $v = 25\text{ м/сек}$  ( $90\text{ км/час}$ ) и  $t_3 = 0,5\text{ сек}$  дистанция безопасности  $l_{\text{дб}} = 0,5 \cdot 25 + 25^2/50 = 12,5 + 12,5 = 25\text{ м}$ , а при  $t_3 = 1\text{ сек}$   $l_{\text{дб}} = 37,5\text{ м}$ .

Введем понятие динамической длины транспортного средства  $l_{\text{д}}$ . Динамическая длина является суммой средней физической длины автомобиля  $l_{\text{с}}$  и дистанции безопасности  $l_{\text{дб}}$ :

$$l_{\text{д}} = l_{\text{с}} + l_{\text{дб}}$$

В среднем физическая длина автомобиля  $l_{\text{с}}$  составляет 5 метров. Таким образом, динамическая длина  $l_{\text{д}}$  – это участок дорожного полотна, который занимает автомобиль с учетом дистанции безопасности  $l_{\text{дб}}$ .

Отношение скорости движения автомобиля к динамической длине ( $v/l_{\text{д}}$ ) является максимальной пропускной способностью полосы движения  $N$ .

Например, пять автомобилей движутся друг за другом на скорости  $90\text{ км/час}$  ( $25\text{ м/сек}$ ), время задержки  $t_3$  составляет 1 сек. Они занимают  $212,5$  метров полосы движения ( $5\text{ авт.} \times 42,5\text{ м}$ ). При указанной скорости расстояние в  $212,5$  метров будет пройдено за  $8,5$  секунды, то есть за  $8,5$  секунды пройдут все пять автомобилей. Таким образом, каждый автомобиль проходит  $l_{\text{д}}$  ( $42,5\text{ м}$ ) за  $1,82\text{ сек}$ . За одну секунду автомобиль пройдет  $23,3$  метра, или округленно  $5/9 l_{\text{д}}$ .

За один час пропускная способность полосы движения  $N$  при данной скорости и времени задержки для водителя  $t_3 = 1\text{ сек}$  составит:  $5/9 \times 3600\text{ сек} = 2000$  автомобилей в час.

При снижении скорости будет меняться динамическая длина и пропускная способность полосы движения. Например, если автомобили движутся со скоростью 7,2 км/час (2 м/сек) дистанция безопасности  $l_{дб}$  составляет около 2,1 метра, то есть при времени задержки  $t_z = 1$  сек расстояние между автомобилями составляет чуть больше 2 метров, динамическая длина  $l_d$  – около 7 метров, а пропускная способность  $N = 2/7 \sim 0,3$  авт/сек, то есть она сократилась примерно в два раза – с 5/9авт/сек до 3/10авт/сек.

Указанный выше расчет пропускной способности при скорости 90 км/час дан для условий движения на городских магистралях, где практически непрерывно производятся съезды автомобилей с магистрали или въезды на нее с многочисленных городских улиц, что предполагает практически непрерывное маневрирование автомобилей для изменения полос движения при подготовке к съезду с магистрали или после въезда на нее и соответствующее напряжение водителя. То же самое характерно для городских магистралей-эстакад с их частыми въездами, съездами и переездами между этажами. В результате, в этих случаях и в интервале скоростей от 30 км/час до 100км/час время реакции водителя на изменение ситуации, или время задержки составляет так же, как и вне этого интервала, порядка 1 секунды, то есть является повышенным.

Введем также понятие плотности транспортного потока  $d$ , которая равна отношению физической длины автомобиля к

динамической длине автомобиля:  $d = l_s/l_d$ .

Данное выражение отражает степень заполнения автомобилями полосы движения (в процентах) с учетом как средней физической длины автомобилей, так дистанции безопасности между ними, определяющейся в значительной степени скоростью движения автомобиля, что, на наш взгляд, является более точным, чем принятое в теории транспортных потоков выражение плотности транспортного потока через число автомобилей на единицу (километр) длины, которое явным образом не учитывает зависимость формирующегося между автомобилями расстояния от скорости их движения.

Из выражения  $d = l_s/l_d$  (см. табл. ниже) сразу же выявляется степень разреженности автомобильного потока при различных скоростях движения при фиксированном времени задержки для водителя. Видно и соотношение занятой физически автомобилями полосы движения и промежутков между автомобилями. Например, при замедленном движении в заторах корпуса автомобилей занимают до двух третей каждой полосы движения (дорога забита автомобилями), а при скоростях автомобилей выше 100 км/час корпуса автомобилей занимают менее десятой части дорожного полотна.

Для иллюстрации приведем таблицу, в которой показана зависимость динамической длины  $l_d$ , пропускной способности полосы движения  $N$  и плотности транспортного потока от скорости движения автомобиля  $V$  в интервале скоростей от 2 м/сек (7,2 км/час) до 45 м/сек (162 км/час) для городских

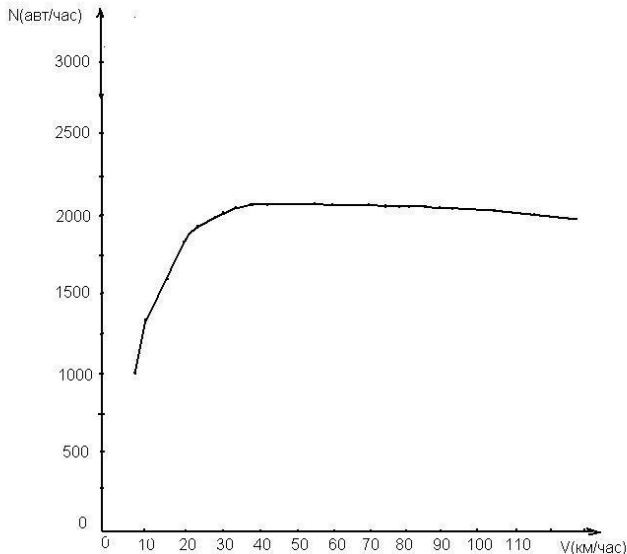
условий, то есть при  $\tau_3 = 1$  сек на магистралях.

V (м/сек)	l <sub>d</sub> (м)	N (авт/сек)	d (%)
2 (7,2км/ч)	7,08	0,28 (1008авт/ч)	70
3 (10,8км/ч)	8,18	0,37 (1332авт/ч)	51
4 (14,4км/ч)	9,32	0,43 (1548авт/ч)	54
5 (18,0км/ч)	10,50	0,48 (1728авт/ч)	49
5 (21,6км/ч)	11,72	0,51 (1836авт/ч)	43
7 (25,2км/ч)	12,98	0,52 (1872авт/ч)	39
8 (28,8км/ч)	14,28	0,56 (2016авт/ч)	35
9 (32,4км/ч)	15,60	0,58 (2118авт/час)	32
10 (36,0км/ч)	17,00	0,59 (2124авт/час)	29
11 (39,6км/ч)	18,40	0,60 (2160авт/час)	27
12 (43,2км/ч)	19,90	0,60 (2160авт/час)	25
13 (46,8км/ч)	21,40	0,61 (2196авт/час)	23
14 (50,4км/ч)	22,90	0,61 (2196авт/час)	22
15 (54,0км/ч)	24,50	0,61 (2196авт/час)	20,5
17 (61,2км/ч)	27,80	0,61 (2196авт/час)	18
18 (64,8км/ч)	29,50	0,61 (2196авт/час)	17
20 (72,0км/ч)	33,00	0,61 (2196авт/час)	15
21 (75,6км/ч)	34,80	0,60 (2160авт/час)	14
22 (79,2км/ч)	36,70	0,60 (2160авт/час)	14
23 (82,8км/ч)	38,60	0,60 (2160авт/час)	13
24 (86,4м/ч)	40,50	0,60 (2160авт/час)	12
25 (90,0км/ч)	42,50	0,59 (2124авт/час)	12
26 (93,6км/ч)	44,50	0,58 (2088авт/час)	11
27 (97,2км/ч)	46,60	0,58 (2088авт/час)	11
28 (100,8км/ч)	48,70	0,57 (2052авт/час)	10
29 (104,4км/ч)	50,80	0,57 (2052авт/час)	10
30 (108,0км/ч)	53,00	0,57 (2052авт/час)	9,5
35 (126,0км/ч)	64,50	0,54 (1944авт/час)	8
40 (144,0км/ч)	77,00	0,52 (1872авт/час)	5,5
45 (162,0км/ч)	90,50	0,50 (1800авт/час)	5,5

Из этой таблицы видно, что при скоростях движения автомобилей в диапазоне от 10 м/сек (36км/час) до 27 м/сек (97км/час) пропускная способность  $N$  имеет по сравнению с оставшимися скоростными режимами наибольшее значение и изменяется незначительно – около 5%.

Графически зависимость пропускной способности  $N$  от скорости движения транспортного потока показана ниже. Из графика видно, что пропускная способность увеличивается примерно в два раза – с тысячи автомобилей в час на одной полосе движения и примерно до двух тысяч автомобилей в час при увеличении скорости от 7 км/час до 30 км/час, затем до 45 км/час идет медленный рост пропускной способности до 2200 тысяч автомобилей в час, эта величина пропускной способности сохраняется до скорости 72 км/час, а потом происходит медленное снижение пропускной способности до 1800 автомобилей в час при скорости 162 км/час. Таким образом, наиболее выгодный режим движения, с точки зрения использования пропускной способности полос движения, начинается с 30 км/час. Однако если при скорости 30 км/час по полосе движения 2000 автомобилей за час проезжают только 30 км, то те же 2000 автомобилей при скорости 90 км/час проезжают уже в три раза большее расстояние. Поэтому, с точки зрения экономичности и быстроты перемещения выгоднее всего выбирать более скоростной режим,

но при этом, не выходя за предел в 100 км/час с точки зрения безопасности движения.



Эта таблица и график, на наш взгляд, более адекватно отражают динамику дорожного движения по основным его параметрам, чем, например, основная диаграмма транспортного потока (показана выше), используемая в теории транспортного потока, основанной на гидродинамической модели [10].

Указанный выше подход по созданию и поддержанию без-

остановочного движения может быть применен как для многоуровневых магистралей-эстакад, так и для наземных магистралей, не имеющих перекрестков (без светофоров), типа «Третьего транспортного кольца» (ТТК) в Москве.

Если иметь в виду преобразование имеющихся в городах большей частью магистралей с перекрестками в магистрали без них, то есть без использования светофоров, в магистрали с безостановочным движением, то необходимо установить надземные или подземные путепроводы для пересекающих магистраль автомобилей и пешеходов. Нами предложен вариант надземных легких эстакад на основе стального каркаса максимально простой конструкции в качестве переездов с односторонним движением через магистраль с боковых улиц.

Над магистралью над перекрестком перебрасывается легкая эстакада на стальном каркасе с одной буферной полосой, двумя полосами движения в одну сторону движения и въездом с магистрали, по которой автомобили могут пересечь магистраль, причем этот вариант позволяет исключить левый поворот с магистрали, чтобы не замедлять движение. На следующем перекрестке или переезде эстакада устанавливается для организации переезда над магистралью в обратном направлении. И так далее. Тем самым, конструкция упрощается, удешевляется, позволяет установить на магистрали безостановочное движение и, вместе с тем, практически не нарушает поперечный транзит автомобилей и пешеходов. В

зависимости от предполагаемой разницы загрузки эстакады автомобилями со стороны магистрали и со стороны подходящей к ней улицы число полос движения должно этому соответствовать. То есть на эстакаду с боковой улицы или дороги может выводиться одна или две полосы (см. рисунки ниже).

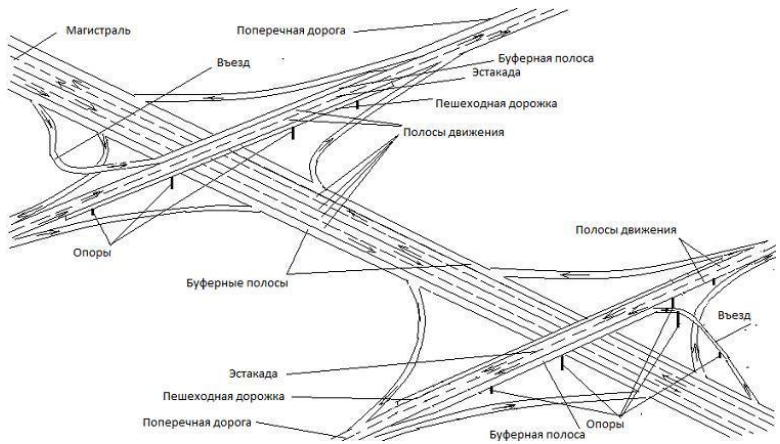
Затраты на установку легкой металлической эстакады одностороннего движения на стальном каркасе составляют около \$600тыс. при ее протяженности в 250 метров. Она имеет массу по металлу 257 тонн, а по дорожному покрытию (из сравнительно тонкого слоя сталефибробетона) – 362 тонны.

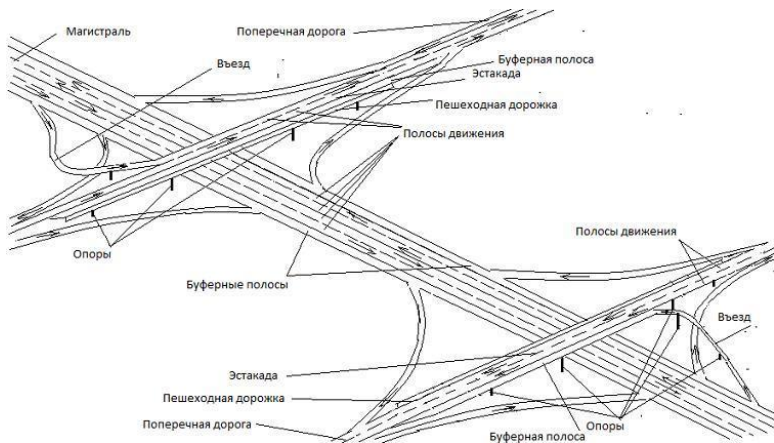
Эстакаду целесообразно, как минимум, сверху накрыть негорючим пластиком, обеспечив тем самым большую сохранность полос движения. Скатывания снега с крыши и возникновения сосулек сравнительно нетрудно избежать, используя следующее.

Известно, что при углах скатов, равных или больших  $60^\circ$ , снега на крыше совсем не остается, то есть коэффициент, зависящий от угла наклона ската, равен 0. При  $45^\circ$  этот коэффициент равен 0,5. Таким образом, можно вывести приемлемую высоту крыши, угол наклона скатов, материал и систему креплений для крыши при условии известной из таблиц величины нагрузки на  $1\text{ м}^2$  крыши, чтобы появилась возможность вовсе не убирать снег с крыши эстакады. Если по тем или иным причинам скатывание даже небольших масс снега с крыши эстакады является недопустимым, то, как из-



вестно, можно вмонтировать в скаты крыши скобы, удерживающие снег и лед на крыше, превращая их с течением времени в безопасную





Приведем краткую экономическую оценку переезда-эстакады с односторонним движением на основе стального каркаса и стальных пролетных участков с дорожным покрытием из сталефибробетона с 2-мя полосами движения и буферной полосой.

Пролетные участки переезда над автомагистралью с безостановочным движением протяженностью 250 м в виде стальных листов-плит  $6 \times 3 \times 0,01$  метра укладываются на стальные двутавровые балки – продольные и поперечные опоры, высотой по сечению 200мм, шириной – 100мм, которые закрепляются на вертикальных опорах – металлических колоннах – высотой от 2 до 4 метров диаметром 30 см, толщиной стенки 20 мм. Колонны располагаются на расстоя-

нии 50 метров друг от друга продольно и 10 метров поперечно. Около 2 метров каждой колонны являются частью фундамента.

Площадь пролетных участков переезда-эстакады составляет  $2500 \text{ м}^2$ , число стальных листов-плит – 139. Поскольку по эстакаде, кроме легковых автомобилей, проезжают автобусы и большегрузные автомобили, постольку необходимо усиление стальной плиты. Для этого к нижней поверхности плоского стального листа привариваются продольные и поперечные ребра, имеющие разную жесткость, то есть формируется ортотропная плита, цена которой несколько выше цены плоского стального листа из металлопроката.

Масса пролетного участка эстакады протяженностью 250м и шириной 10 метров при толщине стальных листов-плит 0,01 м и плотности стали  $7,8 \text{ т/м}^3$  составляет:  $250\text{м} \times 10\text{м} \times 0,01\text{м} \times 7,8\text{т/м}^3 = 195 \text{ тонн}$ . Площадь пролетного участка –  $2500\text{м}^2$ .

Масса въезда протяженностью 100м с наземного уровня на эстакаду и шириной 4 метра при толщине стальных листов-плит 0,01 м и плотности стали  $7,8 \text{ т/м}^3$  составляет:  $100\text{м} \times 4\text{м} \times 0,01\text{м} \times 7,8\text{т/м}^3 = 31,2\text{т}$ . Площадь пролетных участков въезда – 400м.

Общая площадь пролетных участков эстакады и въезда составляет  $2900 \text{ м}^2$ .

Диаметр вертикальных опор-колонн 300мм, толщина стенки 20мм, сечение –  $17600\text{мм}^2$ . Число опор-колонн под

эстакадой – 8, высота 4-х колонн 4 метра, и других 4-х – 2 метра. Две опоры-колонны удерживают въезд на эстакаду, одна высотой 4 метра, другая – 2 метра. Порядка двух метров каждой колонны являются частью фундамента. Суммарная протяженность колонн – 50 метров, масса – 6,86 тонны.

Протяженность двутавровых балок – продольных опор пролетных участков составляет – четыре ряда и в каждом ряду 5-ть пятидесятиметровых продольных опор – 1000м, 4-е поперечных десятиметровых опор-балок имеют суммарную длину 40 м, общая длина балок – 1040м. Известно, что 44,7 м двутавровой балки указанного размера весит одну тонну, то есть масса балок эстакады составляет 22 тонны. Въездной участок удерживают две поперечные балки по 4 метра и два продольных ряда балок протяженностью 200 метров, общая протяженность балок въезда 208 метров. Суммарная протяженность всех балок эстакады и въезда – 1248 метров, то есть 1248 метров балок весят 28 тонн.

Общая масса стальных блоков и элементов эстакады с учетом опор и въездного участка составляет порядка 257т. При цене одной тонны стального проката в виде указанных металлоизделий около \$1000 стоимость стальных блоков и элементов эстакады составляет \$260тыс.

Масса блоков эстакады, нагружающих 8-мь опор-колонн эстакады без учета въездного участка, равна 217т.

Пролетные участки эстакады покрываются, как минимум, пятисантиметровым слоем дорожного покрытия – сталефици-

бробетоном. Площадь пролетов эстакады – 2500 м<sup>2</sup>. Объем сталефибробетонного покрытия пролетов эстакады – 125м<sup>3</sup>, масса – 312,5 т. Площадь пролетов въезда – 400 м<sup>2</sup>. Объем сталефибробетонного покрытия пролетов въезда – 20м<sup>3</sup>, масса – 50 т. Общая стоимость сталефибробетонного покрытия пролетов эстакады и въезда при цене кубометра сталефибробетона \$300 составляет \$43,5 тыс.

С учетом массы сталефибробетона масса эстакады с въездным участком составит 620т и суммарная стоимость – \$300тыс., а масса нагрузки на 8-мь вертикальных опор эстакады составит с учетом массы стали (217т) и массы сталефибробетонного покрытия (312,5) порядка 530 тонн.

Покрытие открытых стальных поверхностей площадью около 2900 м<sup>2</sup> антикоррозионным составом со средней стоимостью порядка \$10 на квадратный метр можно оценить в сумму \$29тыс. А монтаж гидроизоляции на той же площади с той же стоимостью можно оценить в сумму \$29тыс.

Сверху пролетные участки накрыты пластиковой крышей из негорючего материала, площадь которого составляет порядка 3000 м<sup>2</sup>. Его себестоимость при средней цене пластика \$10 составляет \$30тыс.

10 фундаментов (1x1x2) метра потребуют 20 м<sup>3</sup> бетона стоимостью \$6 тыс.

Стоимость указанных конструкций и материалов составит в сумме порядка \$395тыс.

Остальные расходные статьи на установку эстакады вклю-

чают в себя доставку готовых блоков; сборку; аренду кранов, других механизмов и оборудования; проведение предварительных геодезических и других вспомогательных работ.

Известно, что цена доставки кубического метра бетона на расстояние 51-55 км автотранспортном составляет 1000руб. (\$33). Таким образом, доставка  $145\text{м}^3$  бетона от завода до места монтажа и установки эстакады обойдется в \$4,8тыс. Доставка около 260 тонн металлических конструкций при цене доставки тонны автотранспортом на расстояние порядка 650 км \$50 стоит порядка \$13тыс. В сумме доставка конструкций и материала обойдется в \$18тыс.

Сборку эстакады вместе с въездом при наличии необходимого оборудования, механизмов, типовых блоков можно осуществить в основном свинчиванием за один месяц 10-ю специалистами при выплате им \$50 тыс.

Аренда механизмов, включая кран, и остального оборудования на один месяц обойдется в сумму порядка \$50 тыс.

Стоимость остальных вспомогательных работ можно оценить в сумму около \$50 тыс.

С учетом указанных статей расходов стоимость монтажа эстакады составит \$565тыс.

Масса эстакады одностороннего движения с двумя полосами движения и одной буферной полосой на основе металлопроката, являющаяся нагрузкой 8-ми стальных колонн диаметром 30см, сечением  $17600\text{мм}^2$  каждая, составляет около 530 тонн. То есть на общую площадь колонн-опор

по сечению  $140000\text{мм}^2$  действует  $5300000$  ньютонов, или один квадратный миллиметр подвергается давлению  $38\text{н}/\text{мм}^2$ . При пределе прочности стали  $600\text{н}/\text{мм}^2$  конструкция имеет 16-кратный запас прочности. На обеих полосах движения эстакады одновременно может находиться в движении до 20 грузовых автомобилей весящих в среднем каждый 10 тонн, то есть всего 200 тонн. Если учесть их массу, то конструкция с дополнительной нагрузкой в виде автомобилей и общей массой 730т, подвергаясь максимально возможной нагрузке, сохраняет запас прочности, близкий к 11.

Из сравнения массы аналогичных конструкций из бетона и на основе металлопроката видно, что эстакада на стальном каркасе в 4 раза легче, несмотря на то, что более 50% их массы приходится на сталефибробетонное дорожное покрытие. Вместе с тем, объем затрат примерно одинаков, если считать стоимость металлопроката \$ 1000 за тонну, а время установки бетонной и стальной эстакад сопоставимым.

Что касается металлоизделий, то показатели распределяется следующим образом: 80% черного металлопроката – это стальные плиты пролетных участков (лист толщиной 10 мм по 24-27 тыс. руб. за тонну, швеллер – от 25500 руб. до 29000 руб. за тонну), 15% – продольные и поперечные двутавровые балки (28800 руб. за тонну), 2% – опоры-колонны в виде труб (41000 руб. за тонну). Эти данные по цене взяты на конкретных московских предприятиях, продающих металлопрокат в различных его видах. Примерно такие же

цены на данную продукцию и на других аналогичных предприятиях. Так что превышения стоимости новой конструкции не обнаруживается, а цены на стальную основу эстакады в среднем составляют несколько менее \$1000 за тонну, а остальное – это тот же бетон и прочее. При этом блоки и секции конструкции на открытых участках защищаются антикоррозионным покрытием, а между верхней поверхностью пролетных участков из металла и сталефибробетонным покрытием прокладывается гидроизоляция.

При определенных изменениях этот же подход к установлению безостановочного движения может быть применен и для магистралей с перекрестками, или со светофорами [5].

Суть этих изменений состоит в том, что безостановочное движение устанавливается в виде разрывного потока автомобилей. Иначе говоря, когда формируются отдельные колонны (пулы) автомобилей, разрывы, или промежутки между колоннами приходится при движении колонн на запрещающий (красный) сигнал светофора, а сами колонны – на разрешающий (зеленый) сигнал светофора. То есть при работающих в противофазе светофорах на соседних перекрестках через каждый перекресток в течение действия разрешающего сигнала проходит колонна автомобилей, причем после смены сигнала на противоположный в образовавшийся разрыв колонн проходят автомобили поперечных направлений.

Такой подход позволяет точно так же проводить колонны



автомобилей противоположного направления на магистралях с двусторонним движением. Причем особенностью данного подхода является то, что при фиксированном интервале действия сигнала всех светофоров, например, 40 секунд, управление движением переходит как бы от светофора к водителям переднего фронта каждой автомобильной колонны, которые притормаживают, если видят, колонна едет слишком быстро и может оказаться на перекрестке до смены красного сигнала на зеленый или, наоборот, прибавляют газу, если скорость колонны недостаточна, чтобы использовать все время работы разрешающего сигнала.

Что же касается пополнения колонн, убывающих по количеству автомобилей по мере их съезда на боковые улицы, то выпуск с поперечных направлений на магистраль автомобилей осуществляется по сигналу пересчитывающих автомобили в колонне детекторов, которые передаются контроллером на въездной светофор, если убыль автомобилей составит, например, 20% от имевшегося первоначально числа автомобилей в колонне. А прекращается выпуск автомобилей на магистраль, как только прежнее число автомобилей в колонне восстановится.

### Риски проекта и их оценка.

Рассмотрим возможные возражения по работоспособности и эффективности предложенной методики регулирования транспортных потоков с точки зрения оценки рисков проекта.

1) Введение безостановочного движения на магистралях без светофоров (заторы и пробки не возникают) типа «Третье транспортное кольцо» (ТТК) и «Московская кольцевая автодорога» (МКАД) в Москве ухудшает условия проезда по прилегающей улично-дорожной сети, в том числе, нарушает работу общественного пассажирского транспорта.

Сначала на конкретном примере такой магистрали без светофоров как «Третье транспортное кольцо» (ТТК) покажем возможные результаты использования предлагаемой нами методики регулирования транспортных потоков на основе ramp metering в отношении пропускной способности и в отношении организации безостановочного движения (без возникновения заторов и пробок).

Обычно при затрудненном движении по ТТК, например, в часы пик, на нем начинают скапливаться автомобили, въезжающие на ТТК примерно с 30 въездов. Плотность транспортных потоков растет, скорость движения падает. В частности, при падении скорости до 7 км/час с образованием между автомобилями расстояния в 2 метра и при средней длине автомобиля 5 метров на трех полосах движения одной стороны ТТК при его протяженности 36 км скапливается  $(36000\text{м} \times 3\text{полосы}) : (5+2)\text{м} = 15400$  автомобилей. Если взять случай, что каждый автомобиль до съезда с магистрали должен проехать по ней половину ТТК (18 км), то при скорости 7 км/час на проезд в этих условиях затрачивается  $18\text{км} : 7\text{км/час} \approx 2,6$  часа. Таким образом, за 2,6 часа по 1/2

ТТК сможет переместиться  $15400 \text{ авт} \times 1/2 \approx 7700$  автомобилей, то есть за один час по одной полосе движения сможет проехать ( $7700 \text{ авт.} : 3 \text{ полосы}$ ) :  $2,6 \text{ час} \approx 1000$  автомобилей.

При регулировании движения по предложенной методике на трех сквозных полосах движения ТТК (протяженность ТТК 36 км) при той же средней длине автомобиля (5 м) и расстоянии между автомобилями 30 – 40 метров (скорость движения 60 – 90 км/час) в среднем находится примерно ( $36000 \text{ м} \times 3$ ) :  $35 \text{ м} \approx 3000$  автомобилей, то есть меньше, чем в уже рассмотренном случае, в 5 раз:  $15400 \text{ авт.} : 3000 \text{ авт.} \approx 5$ , (число автомобилей при данных условиях – запуск на ТТК со всех въездов порциями – колеблется примерно от 3300 до 2400). При средней скорости 75 км/час на проезд половины ТТК (18 км) затрачивается:  $18 \text{ км} : 75 \text{ км/час} \approx 0,24$  часа, или около 14 минут. Таким образом, за 0,24 часа по 1/2 ТТК сможет переместиться  $3000 \text{ авт} \times 1/2 \approx 1500$  автомобилей, то есть за один час по одной полосе движения сможет проехать ( $(1500 \text{ авт.} : 3 \text{ полосы}) : 0,24$ )  $\approx 2025$  автомобилей.

Эти данные указывают на важнейший для внедрения предложенной методики факт: время, требуемое на проезд одинакового расстояния при установленном свободном движении на магистрали без светофоров, например, за счет ограничения въезда при выходе за пределы установленного скоростного интервала, в 11 раз меньше времени, расходуемого на проезд того же пути при неконтролируемом въезде автомобилей в часы пик на магистраль. Поэтому даже в часы пик

можно будет с помощью магистралей с безостановочным режимом скоростного движения существенно сократить время в пути.

Что касается пропускной способности магистрали, то приведенные данные показывают явную зависимость пропускной способности от скорости движения транспортного потока: пропускная способность увеличивается с ростом скорости в данном случае более чем в два раза.

Посмотрим, насколько совпадают эти опытные данные с расчетными показателями, полученными для аналогичных случаев из введенных нами соотношений.

В соответствии с предлагаемым подходом к оценке формирования транспортных потоков пропускная способность  $N$  одной полосы движения вычисляется по формуле:  $N = v/L_d$ , где  $L_d$  является динамической длиной транспортного средства и определяется по формуле:  $L_d = l_s + l_{db}$ , где  $l_s$  является физической длиной автомобиля и в среднем составляет 5 метров, а  $l_{db}$  является дистанцией безопасности от переднего бампера до заднего бампера соседних автомобилей в потоке и  $l_{db} = t_z \cdot v + v^2/50$ , где  $t_z$  – время задержки, то есть время реакции водителя на изменение окружающей обстановки;  $v$  – скорость автомобиля.

Для первого примера с неконтролируемым въездом автомобилей на ТТК, в котором при постепенном насыщении трассы автомобилями скорость потока автомобилей падает до 7 км/час (затор), или 2 м/сек, а время задержки для води-

телей составляет в условиях затрудненного движения примерно 1 сек, пропускная способность вычисляется следующим образом:  $N = v/(ls + l_{дб}) = v/(ls + \tau_3 \cdot v + v^2/50) = 2/(5 + 1 \cdot 2 + 4/50) = 2/(7 + 0,08) = 0,29(\text{авт/сек}) \approx 1164$  автомобилей в час.

В примере с использованием предлагаемой методики средняя скорость автомобилей на ТТК составляет 75 км/час, или 21 м/сек, а время задержки для водителей в условиях частого маневрирования, так как автомобили практически постоянно въезжают на трассу и съезжают с нее, составляет, так же как и в первом примере, около 1 сек, пропускная способность вычисляется следующим образом:  $N = v/(ls + l_{дб}) = v/(ls + \tau_3 \cdot v + v^2/50) = 21/(5 + 1,0 \cdot 21 + 441/50) = 21/34,8 \approx 0,6(\text{авт/сек}) = 2160$  автомобилей в час.

Это в целом совпадает с опытными данными, в соответствии с которыми пропускная способность полосы движения так же увеличивается примерно в 2 раза – примерно от 1000 автомобилей час до 2000 автомобилей в час.

Приведенный пример показывает, что среднесуточная пропускная способность каждой действующей полосы движения при условии сохранения для автомобилей пространства для маневрирования сохраняется вблизи значения 2000 автомобилей в час, а время проезда половины ТТК также в любое время суток составляет около 14 минут. То есть, если в течение суток на ТТК средняя скорость будет составлять 75 км/час (сравнительно разреженное движение), то за-

торы и пробки, причиной которых является падение скорости транспортного потока, не возникнут.

Однако пробки могут возникнуть в результате аварии на трассе. Поэтому для объезда (обтекания) мест аварий предлагается ввести и использовать резервные-технические, или буферные (крайние справа по ходу движения) полосы и оставшиеся свободными во время аварии или ремонта полосы движения, что позволяет при сохранении режима ramp metering (регулярной приостановки въезда автомобилей на трассу, или контролируемого въезда на магистраль) удерживать движение безостановочным.

Резервно-техническая полоса, по которой сквозной проезд запрещен, используется также как буфер при въезде и съезде автомобилей, то есть только для плавного переезда на крайнюю полосу движения от места въезда или для подъезда к месту съезда с магистрали, что позволяет автомобилям не скапливаться на полосах движения у съездов и, тем самым, не блокировать полосы скоростного движения.

Кроме этого резервно-технические (буферные) полосы могут использоваться для подъезда специализированного транспорта к местам аварий или ремонта, а также в случае необходимости как полосы для достаточно редкого движения общественного транспорта.

Многokратное сокращение времени проезда автомобилей по магистрали без светофоров – типа ТТК – способствует разгрузке прилегающей улично-дорожной сети от авто-

мобилей благодаря ускоренной переброске их к местам назначения через эту магистраль с безостановочным движением и высокой пропускной способностью и, таким образом, не ухудшает, а улучшает условия проезда на этой сети, причем за счет предложенной организации движения часть полос магистрали может быть использована как для ее нужд, так и для сравнительно редко проезжающего общественного транспорта.

Для многоуровневой магистрали-эстакады, как и для любой наземной магистрали, в период выбора места ее установки (строительства) и подготовки проектной документации необходимым этапом является согласование притока автомобилей с боковых подъездов, в том числе и перспектив этого притока, с проектируемой пропускной способностью магистрали-эстакады и оттока автомобилей с пропускной способностью отходящих от магистрали-эстакады трасс. Причем, если ошибку по расчету притока можно исправить, надстроив эстакаду или срезав лишние этажи, то ошибка по расчету оттока может быть чревата осложнениями, вплоть до закупоривания слишком редких мест съезда и поиска автомобилями свободных мест съезда. Поэтому, например, в случае примерно равного притока и оттока автомобилей число въездов на магистраль-эстакаду и число съездов с нее должно быть одинаково, а пропускная способность магистрали-эстакады должна быть несколько выше максимально возможного притока автомобилей. То есть необходимо предусмотреть

необходимое увеличение на участке числа съездов и если их недостаточно, спроектировать соответствующие отводы от магистрали-эстакады на прилегающие улицы. Однако и при этом, в общем-то, равновесном положении могут быть значительные отклонения от средних значений притока, накопления автомобилей на этажах магистрали-эстакады и оттока автомобилей, например, на въездах в утренние часы пик. Для этого при проектировании на соответствующих участках следует предусмотреть дополнительные въезды на магистраль-эстакаду непосредственно на ее верхние этажи с подведением к ним соответствующих отводов от прилегающих улиц и дорог. Что же касается возможного переполнения магистрали-эстакады автомобилями выше установленного предела, то для его недопущения, так как от этого зависит сохранение скоростного безостановочного движения, необходимо на каждом въезде на магистраль-эстакаду установить автоматическую систему, которая, например, с помощью радара, то есть по скорости или с помощью пересчетных датчиков, то есть по количеству проходящих автомобилей, производит регистрацию параметров транспортного потока и при их отклонении за нижний предел кратковременно приостанавливала въезд автомобилей на магистраль-эстакаду, передавая через контроллер команду на включение запрещающего сигнала въездного светофора, действующего до восстановления близких к максимальному значений параметров транспортного потока.



Аналогичные действия должны производиться во избежание заторов и пробок и для сохранения скоростного безостановочного движения на наземных магистралях без светофоров. Покажем на примере ТТК, какие она имеет характеристики по въезду на нее автомобилей, ее пропускной способности при сохранении скоростного режима движения и по оттоку автомобилей с нее. По ТТК по каждой сквозной полосе движения, а их там три по обеим сторонам (на отдельных участках ТТК число полос доходит до пяти), может проехать в час, как мы показали выше, около 2000 автомобилей в интервале скоростей 60-90 км/час, то есть 6000 автомобилей в час по трем полосам сквозного движения. При наличии примерно 30 въездов на ТТК с одной ее стороны и 30 съездов с нее за один час с этой стороны может въехать в среднем  $6000 : 30 = 200$  автомобилей и съехать 200 автомобилей, или примерно 3 автомобиля в минуту. Поэтому самый простой путь сохранения данного выгодного скоростного режима – это постоянный пересчет автомобилей на въездах с впуском на ТТК не более трех автомобилей в минуту. Если автомобилей начинает въезжать больше, то въезд сразу же ограничивается и автомобили приостанавливаются на, например, специально подготовленных площадках – наземных, если есть место для них, или надземных (подземных), при отсутствии такового.

Другой способ въезда на ТТК для сохранения скоростного режима на ТТК основан на использовании радаров, То

есть при падении средней скорости транспортного потока до установленного предела в 60 км/час контроллер дает команду на включение запрещающего сигнала въездного светофора до восстановления близкой к максимальной скорости потока, например, до значения – 80 км/час, и только после этого снова разрешает въезд. Что касается съезда с ТТК, то тут все проще, так как с резервно-технической (буферной) полосы на съезд в среднем идет в минуту только 3 автомобиля, поэтому никаких помех для съезда для них, а также для движения основного транспортного потока не создается даже в случае внезапного желания, например, водителей сразу 10 автомобилей съехать на одном и том же выезде в одно и то же время. В этом случае автомобили, выстроившись один за другим на резервно-технической (буферной) полосе, последовательно выедут с ТТК, не препятствуя движению основного транспортного потока. В том же случае, если выезжать им будет некуда – например, прилегающая улица будет в пробке – на резервно-технической (буферной) полосе у данного съезда будет выстраиваться очередь до тех пор, пока места на этой полосе будет достаточно, а затем остальным автомобилям придется просто проезжать дальше – до последующих съездов.

Так что текущая ситуация с заторами и пробками, например в Москве, на магистралях без перекрестков вполне решаема так, как это описано выше.

Следует также отметить, что наличие свободной от движе-

ния резервно-технической (буферной) полосы по краю магистрали особенно важно при недостатке съездов с магистралей, как, например, на МКАД Москвы. Поскольку сохранение скоростного режима является самым главным для нормального функционирования магистралей, постольку уходящие с потока автомобили не должны его задерживать и должны иметь место для ухода в любое время из потока. Этим местом и является резервно-техническая полоса, способная вместить достаточное число автомобилей, если пропускной способности съездов, например, в часы пик не хватает. Причем технически несложно дополнительно расширить резервно-техническую полосу для большей вместимости отстаивающихся до момента съезда на ней автомобилей, по крайней мере, до того времени, пока дополнительные съезды не будут построены.

Что же касается транспортных потоков на магистралях со светофорами (с регулируемым перекрестками) типа радиальных магистралей в Москве, то на них следует использовать описанную вкратце выше усовершенствованную нами методику ramp metering [3], с помощью которой несложно устанавливать безостановочное движение на магистралях (без возникновения заторов и пробок) даже при наличии на них светофоров. Причем, например, если в местах пересечений магистралей другими улицами возникают непреодолимые трудности при движении в поперечном направлении, то проблему можно решить, например, перебросив через ма-

гистраль легкую эстакаду для поперечного движения транспорта.

Именно таким образом можно решить проблему связанности улично-дорожной сети и автомобили одного района города не отсекаются от другого района магистралью с безостановочным движением, что подробно описано в источнике [5].

Кроме того, проблема связанности решается и другим вариантом методики организации безостановочного движения, а именно: движением автомобилей по магистрали с регулируемыми перекрестками без остановки колоннами с разрывами между ними, детально описанной в источнике [5].

2) Возможность неприемлемо большого времени ожидания разрешающего сигнала светофора при въезде на магистраль.

Как нами уже было указано выше, гораздо важнее установить на всех магистралях скоростное безостановочное движение, позволяющее за 10-20 минут пересечь значительную часть города, чем все остальное, поскольку магистрали являются основными транспортными артериями города и при установлении на них безостановочного движения (без пробок и заторов) практически решается проблема назревающего транспортного коллапса, то есть десятки и даже сотни тысяч автомобилей по магистралям могут беспрепятственно перемещаться по городу без пробок и заторов на них, в от-

личие от того, как это происходит сейчас.

Что касается «возможного неприемлемого большого времени ожидания разрешающего сигнала светофора», то, как уже было показано выше, кратковременное ожидание (несколько минут до въезда на магистраль для каждого автомобиля), практически только в часы пик на специально выделенных площадках неизмеримо выгоднее простоя автомобилей в течение 2-3 часов в пробках на магистрали, как это происходит каждый день на МКАД, ТТК и других городских магистралях Москвы и на аналогичных магистралях других городов.

Отметим также и проблему съезда с магистрали, которая является важной с точки зрения сохранения на магистралях безостановочного скоростного движения. Например, на ТТК в часы пик образуются пробки у ряда съездов из-за того, что съезды находятся на стыке ТТК и радиальных магистралей, которые в часы пик забиты автомобилями. Конечно, введение резервной-технической (буферной) полосы, на которой, не мешая основному движению, съезжающие автомобили могут выстроиться в очередь в ожидании съезда на радиальную магистраль и не перегораживать сквозные полосы движения, в определенной мере решает проблему. Однако более конструктивным является установление безостановочного движения на всех магистралях – и кольцевых и радиальных – со светофорами и без светофоров. В этом случае при наличии согласования транспортных потоков и приме-

нения современных развязок на их стыках, а также резервно-технических полос для въезда и съезда проблем с переездом с одной магистрали на другую не может возникнуть.

3) Затруднение перестроений, необходимых для следования по маршруту, сформированными плотными транспортными потоками.

Настоящая методика как раз позволяет избежать образования плотных транспортных потоков. С ее помощью на магистралях автоматически образуются разреженные транспортные потоки скоростного, безостановочного движения. Поэтому автомобили могут свободно маневрировать в этих условиях. Это необходимо потому, что в городских условиях при наличии частых въездов на магистрали и съездов с них автомобилям для въездов или съездов приходится переезжать с одной полосы на другую. Для обеспечения этого, расстояние между автомобилями должно быть большим, нежели при движении без маневров, как это, например, происходит на междугородних хайвеях, где съезды редки. Иначе говоря, маневрирование на полосах движения отвлекает водителя, в среднем увеличивая время на принятии им тех или иных решений (время задержки). Поэтому теоретически максимально возможная пропускная способность городских магистралей, составляющая около 3000 автомобилей в час для одной полосы движения при скоростях от 30 до 100 км/час, снижается приблизительно до 2000 автомобилей в час для одной полосы (см. расчеты выше). Тем не менее, эта

величина пропускной способности выше нынешней средней пропускной способности на магистралях без использования светофоров примерно вдвое и выше нынешней средней пропускной способности на магистралях с использованием светофоров примерно вчетверо, но главное не это, а то, что в отсутствии заторов и пробок высокая скорость на магистралях позволяет автомобилям в десятки минут пересекать весь город. Именно для установления и сохранения режима скоростного безостановочного движения количество автомобилей на магистралях автоматически регулируется описанной выше методикой. В результате средняя скорость транспортного потока при указанных колебаниях, например, от 60 км/час до 90 км/час не падает до низких значений и составляет в среднем около 75 км/час. А при аварийных случаях или ремонте на трассе для объезда используется заранее выделенная по каждому краю магистрали резервно-техническая полоса.

4) Низкая эффективность ограничения доступа на магистрали с точки зрения перераспределения транспортных потоков из-за низкой связности местной улично-дорожной сети (УДС) и невозможности выбора альтернативного маршрута.

Мы уже выше упоминали о распространенном заблуждении по заметному влиянию некоторого (в основном крайне незначительного по времени и использующегося, как правило, в часы пик) ограничения въезда на магистрали автомо-

билей на эффективность дорожного движения.

В городских условиях все происходит как раз наоборот: если по магистралям можно без пробок и заторов (именно для этого магистрали и предназначены) быстро (за 10-20 минут) доехать до пункта назначения, то водитель, как правило, не будет искать альтернативные маршруты, а предпочтет ехать по магистрали даже в том случае, если для въезда на нее ему придется некоторое время (несколько минут) подождать. Таким образом, время в пути для него возрастет на несколько минут, например, с 15 минут до 20 минут, тогда как другими маршрутами ему до того же места придется добираться в заторах и пробках часами.

Иначе говоря, если создать движение без пробок хотя бы на магистралях, то пропускная способность городской сети сразу увеличится.

Но полностью решить проблему заторов и пробок на улицах города возможно только с помощью сети многоуровневых магистралей-эстакад для перемещения легковых автомобилей, а также автопоездов или электропоездов с пассажирами, желающими перемещаться по городу без автомобилей (недорогой аналог метро, но над землей), описанной выше, поскольку сеть магистралей-эстакад как бы всасывает в себя легковые автомобили, освобождая секторальные улицы от лишнего транспорта для свободного проезда. Кроме того, магистрали-эстакады обеспечивают свободный въезд в город и выезд из него любого числа автомобилей. При установ-



ке магистралей-эстакад над действующими магистралями и/или железнодорожными путями не придется тратить колоссальные суммы на снос домов и строительство дополнительных дорог в городе, а практически неограниченная пропускная способность городской сети магистралей будет обеспечена.

5) Высокая стоимость внедрения, требующего существенных инвестиций в транспортную инфраструктуру.

Известно, что уже в течение более 10 лет борьбы с пробками в Москве безрезультатно потрачены сотни миллиардов долларов, и эти бесполезные траты предполагается осуществлять и далее.

Внедрение же усовершенствованной нами методики регулирования транспортных потоков ramp metering [3] на магистралях со светофорами [5] и без них [5] по сравнению со строительством или расширением дорог обходится совсем недорого: для регулирования процесса въезда автомобилей на магистраль требуются светофоры, радары или детекторы, табло, контроллеры. А это оборудование не является дорогим. К тому же, на многих въездах на магистрали светофоры и прочее оборудование уже имеется и его надо только перестроить. Что же касается установки многоуровневых магистралей-эстакад над наземными магистралями, то километр двухэтажной магистрали с восемью действующими полосами движения и парковочным третьим уровнем стоит \$7-8 млн., а не сотни миллионов долларов, затрачиваемых город-

ским бюджетом, в данном случае Москвы, на один километр городских наземных магистралей.

Только одно внедрение усовершенствованной нами методики регулирования транспортных потоков ramp metering на магистралях со светофорами и без них, увеличивает пропускную способность нынешних магистралей примерно в полтора раза, что только по этому показателю эквивалентно соответствующему увеличению сети транспортных магистралей, а это – сотни миллиардов долларов. К тому же следует отметить уменьшение потерь времени в пути, расхода топлива, напрасно расходующегося в заторах, уменьшение поступающего в воздух выхлопного газа и т.д.

Дополнительные разъяснения по организации безостановочного движения на городских автомагистралях.

Прежде всего, должен быть решен вопрос о выделении пробного участка без пересечений (без регулируемых перекрестков) в 10-20 км.

На нем сначала могут быть отработаны вручную детали методики установления безостановочного движения на магистралях без перекрестков, то есть с использованием на въездах ручного переключения светофоров на запрещающий сигнал или использования жезла при указании радара на падение скорости потока до 60 (40 или 50) км/час и на разрешающий сигнал при указании радара на заданный верхний предел скорости потока 100 (80 или 90) км/час. После этой отработки производится установление автоматического ре-

жима контролируемого въезда автомобилей на всем протяжении участка, а затем перенос этого режима на все аналогичные магистрали.

Если в городе не имеется магистралей без пересечений, то необходимо рассмотреть вариант надземных переездов или рассмотреть вариант организации безостановочного движения на магистралях с перекрестками автомобильными колоннами с разрывами между колоннами (см. предшествующую главу).

Приведем более конкретно алгоритм для регулирования въезда автомобилей на магистраль без перекрестков.

На въездах необходимо поставить регулировщиков с жезлами или ручным переключением сигнала светофора и радары для проведения периодического ограничения въезда автомобилей на магистраль.

При свободном движении, например, в интервале 50-90 км/час ограничение въезда не производится (магистраль не перегружена, поток далек от синхронизированного, то есть автомобили имеют возможность свободно менять полосу движения). Средняя скорость транспортного потока измеряется радары или другими доступными способами.

При уплотнении транспортного потока в часы пик или при авариях и, как результат, падении его средней скорости, например, до 50 км/час въезд автомобилей на магистраль на соответствующих участках запрещается до увеличения средней скорости транспортного потока, например, до 90

км/час.

При регистрации средней скорости потока 90 км/час въезд автомобилей на данный участок магистрали разрешается вплоть до снижения средней скорости потока до 50 км/час и так далее.

Этот алгоритм используется, в основном, в часы пик и при авариях, то есть при начале перегрузки трассы. Результатом использования этого алгоритма является то, что безостановочное движение потока автомобилей на магистрали не прерывается.

При этом на магистрали для скоростного, свободного, безостановочного движения используются все полосы движения, кроме крайних справа по ходу движения.

Таким образом, с помощью указанного режима контролируемого въезда скорость на всем протяжении магистрали все время удерживается в пределах 50-90км/час и безостановочное движение в режиме свободного потока сохраняется.

При авариях на магистрали скорость удерживается в тех же пределах за счет дополнительного увеличения времени ограничения въезда автомобилей на магистраль до момента увеличения скорости потока до максимального значения, а объезд места аварии (ремонта) проводится по свободным полосам движения и буферным (крайним справа) полосам у мест аварий.

1. Дорожная полиция и департамент по управлению движением должны скоординировать свои действия по предот-

вращению сквозного проезда автомобилей по буферным полосам, например, с помощью специальной разметки, использованием видеокамер и т.д.

2. Число въездов на магистраль должно соответствовать числу съездов с магистрали для согласования притока автомобилей на магистраль и оттока их с нее. Если число съездов недостаточно или в часы пик у съездов транспортный поток начинает быстро уплотняться, то необходимо соответственно увеличить число съездов или изменить организацию движения на прилегающих к магистрали улицах аналогичным предложенному способом.

3. Въезд автомобилей на магистраль, так же как и съезд с нее, производится только через буферную полосу на отрезке 50-200 метров и автомобили перед съездом с магистрали заранее переезжают на эту резервно-техническую (буферную) полосу, чтобы не создавать помех другим автомобилям на действующих полосах движения. Таким образом, буферная полоса оказывается на большей части своего протяжения свободна для объезда автомобилями мест аварии или ремонта.

4. Съезд производится только в правую сторону по ходу движения через буферную полосу, чтобы не нарушать режим свободного потока (не тормозить его) на магистрали. Левый поворот с магистрали запрещается.

5. Запуск автомобилей на магистраль производится только по разрешающему сигналу въездного светофора, работа-

ющего в автоматическом режиме через контроллер, запрограммированный на смену разрешающего въезд сигнала на запрещающий только при подаче с радара сигнала о падении средней скорости транспортного потока, например, до 50 км/час. Сигнал светофора переключается на разрешающий только при наборе транспортным потоком скорости, близкой к верхнему пределу скорости, например, 90 км/час (в зависимости от ситуации эти интервалы могут быть различными, например, 30 – 70 км/час, 60 – 100 км/час, но не менее 30 км/час). Тем самым, не допускается попадание транспортного потока в стадию синхронизированного потока (при котором автомобили не могут маневрировать без торможения потока) и возникновение заторов исключается.

На магистрали должны быть установлены указатели об ограничении нижнего уровня скорости, например, до 50 км/час. Таким образом, данный режим исключает возможность перехода свободного транспортного потока в синхронизированный, который лишает автомобили возможности маневра (переезда с одной полосы движения на другую).

6. Для случая возможного скопления автомобилей у въездов при запрещающем сигнале светофора, например, в часы пик необходимо предусмотреть соответствующее расширение въездных участков на магистраль. Что касается съезда, то при экстремальной ситуации, например, в часы пик, автомобили выстраиваются один за другим на буферной полосе перед съездом и последовательно съезжают с магистрали, не

препятствуя движению основного транспортного потока. В том случае, если выезжать им будет некуда – прилегающая улица будет в пробке – на буферной полосе у данного съезда будет выстраиваться очередь до тех пор, пока места на этой полосе будет достаточно, а затем остальным автомобилям придется проезжать дальше – до следующих съездов. В любом случае, многократное сокращение времени проезда автомобилей по магистрали без светофоров (без перекрестков) способствует разгрузке прилегающей улично-дорожной сети от автомобилей благодаря их ускоренной переброске к местам назначения через данную магистраль с безостановочным движением и высокой пропускной способностью и улучшает условия проезда по всей городской дорожной сети.

7. Для преобразования магистрали с перекрестками в безостановочную магистраль необходимо, кроме демонтажа центральных светофоров и установки светофоров на въездах, соорудить для пешеходов подземные и надземные переходы, а автомобили, пересекающие данную магистраль, пустить по быстро собирающимся металлическим эстакадам. В результате, смежные районы города не рассекаются автомагистралью с исключением возможности прямого транзита.

8. Кроме указанных целей, буферные полосы могут использоваться для подъезда специализированного транспорта к местам аварий или ремонта, а также, при необходимости, и как полосы для общественного транспорта в определенное время суток.

9. Следует также отметить, что наличие свободной от движения резервно-технической (буферной) полосы по краю магистрали особенно важно при недостатке съездов с магистралей. Поскольку сохранение безостановочного скоростного режима является самым главным для нормального функционирования магистралей, постольку уходящие из транспортного потока автомобили не должны его задерживать и должны иметь место для ухода в любое время из потока. Этим местом и является буферная полоса, способная вместить достаточное число автомобилей, если пропускной способности съездов, например, в часы пик не хватает. Причем технически несложно дополнительно расширить буферные полосы – в предельном варианте – для большей вместимости отстаивающихся до момента съезда на ней автомобилей, по крайней мере, до времени постройки дополнительных съездов.

10. Как нами уже было указано выше, гораздо важнее установить на всех магистралях скоростное безостановочное движение, позволяющее за 10-20 минут пересечь значительную часть города, чем все остальное, поскольку магистрали являются основными транспортными артериями города и при установлении на них безостановочного движения (без пробок и заторов) практически решается проблема транспортного коллапса, то есть тысячи, а в крупных городах десятки тысяч и более автомобилей по магистралям могут беспрепятственно перемещаться по городу без пробок и заторов.



ров на них, в отличие от того, как это происходит сейчас. Что касается «возможного неприемлемого большого времени ожидания разрешающего сигнала светофора перед въездом на магистраль», то кратковременное ожидание (как правило, несколько минут до въезда на магистраль для каждого автомобиля в напряженные периоды движения), практически только в часы пик на специально выделенных площадках неизмеримо выгоднее задержки автомобилей в течение 2-3 часов в пробках на магистралях, как это происходит каждый день на магистралях практически всех крупных городов.

11. Настоящая методика позволяет избежать уплотнения транспортных потоков. С ее помощью на магистралях образуются разреженные (свободные) транспортные потоки со скоростным безостановочным движением. Поэтому автомобили могут беспрепятственно маневрировать в этих условиях. Это необходимо потому, что в городских условиях при наличии недалеко друг от друга расположенных въездах на магистрали и съездах с них автомобилям при въездах и съездах приходится часто переезжать с одной полосы на другую. Для обеспечения этого, расстояние между автомобилями должно быть большим, нежели при движении без маневров, как это, например, происходит на междугородних хайвеях, где съездов сравнительно немного. Иначе говоря, маневрирование на полосах движения отвлекает водителя, в среднем увеличивая время на принятии им тех или иных решений (время задержки). Поэтому теоретически максималь-

но возможная пропускная способность городских магистралей без светофоров, составляющая около 3000 автомобилей в час для одной полосы движения при скоростях от 30 до 100 км/час, снижается приблизительно до 2000 автомобилей в час для одной полосы. Тем не менее, эта величина пропускной способности существенно выше нынешней средней за сутки в городах пропускной способности магистралей при неконтролируемом въезде автомобилей на них. Но главное не это, а то, что в отсутствии заторов и пробок высокая скорость на магистралях позволяет автомобилям в десятки минут пересекать весь город. Именно для установления и сохранения режима скоростного безостановочного движения количество автомобилей на магистралях автоматически регулируется описанной выше методикой. В результате скорость транспортного потока при указанных колебаниях, например, от 50 км/час до 90 км/час не падает до низких значений и составляет в среднем около 70 км/час не только в часы пик, но и при аварийных случаях или ремонте на трассе. В последнем случае для объезда используются выделенные по краям магистралей буферные полосы.

12. Известно, что уже в течение более 10 лет борьбы с пробками в Москве и в большинстве других крупных городов безрезультатно потрачены астрономические суммы, поскольку заторы и пробки только растут вместе с ростом числа автомобилей. Тем не менее, эти бесполезные траты предполагается осуществлять и далее. Использование же усовер-

шенствованной нами методики регулирования транспортных потоков ramp metering на магистралях без светофоров по сравнению со строительством или расширением дорог обойдется сравнительно недорого: для регулирования процесса въезда автомобилей на магистраль потребуются, как правило, уже установленные на въездах светофоры, радары, табло, контроллеры, программу которых следует только перенастроить. Но это только в том случае, если не требуется установка переездов через магистраль.

13. Только одно использование усовершенствованной нами методики регулирования транспортных потоков ramp metering на магистралях со светофорами увеличивает пропускную способность ныне действующих магистралей примерно в 1,5 раза, что по одному этому показателю эквивалентно соответствующему росту сети транспортных магистралей, а это – для крупных городов не один миллиард долларов. К этому можно добавить уменьшение потерь времени в пути, топлива, напрасно расходующегося в заторах, уменьшение поступающего в воздух выхлопного газа и т.д.

14. Если у городской администрации не имеется возможности перевести магистраль в бессветофорную (без регулируемых перекрестков), то можно применить другую методику организации безостановочного движения на магистралях со светофорами (см. в предыдущей главе), суть которой сводится к установлению на магистрали непрерывного движения автомобилей колоннами, в разрывы между кото-

рыми попадает промежуток времени, необходимый для проезда пересекающих магистраль автомобилей и для перехода пешеходов через перекресток. В этом случае, как и в первом, крайние правые полосы в каждую сторону движения по магистрали переводятся в буферные, то есть используются только для въезда на магистраль, съезда с нее, а также для объезда случившихся аварий или при ремонте. На каждом въезде (перекрестке) на магистраль устанавливаются светофоры, управляемые через контроллер пересчетными датчиками (в настоящее время эту функцию, как правило, выполняют видеокамеры) по программе, которая запрещает автомобилям въезд на магистраль до момента снижения числа автомобилей в колонне до установленного уровня, например, до уровня в 20% от максимально возможного числа автомобилей в колонне при средней скорости транспортного потока, например, 70 км/час. В результате, транспортный поток в виде отдельных автомобильных колонн на оставшихся полосах движения превращается в скоростной, непрерывный и с пропускной способностью для каждой полосы движения до 1500 автомобилей в час, несмотря на наличие на магистрали перекрестков. При этом, во избежание торможения потока, левый поворот на магистрали запрещается.

Поясним указанное. Предложенный способ регулирования автомобильного движения на магистрали состоит в том, что реализуется пересечение транспортным потоком перекрестка сходу колоннами с соответствующими разрывами

между ними. Этим и обеспечивается максимальная пропускная способность для магистралей со светофорами. Для этого отсеканием на перекрестках формируют поток транспортных средств с разрывами, состоящий из колонн, которые сходят, друг за другом, соблюдая установленный интервал, определяемый временем запрещающего сигнала светофора, пересекают каждый перекресток на магистрали на разрешающий сигнал светофора. Въезжающие на магистраль по буферной полосе автомобили, присоединяются к ближайшей колонне после разгона по буферной полосе.

Обязательной мерой для безостановочного движения сформировавшихся колонн является своего рода «фазирование» потока транспортных средств, то есть решение задачи подвода головных автомобилей каждой отдельной колонны к перекрестку к моменту появления разрешающего сигнала светофора. Это обеспечивается путем информирования водителя автомобиля тем или иным способом о времени, остающемся до появления разрешающего сигнала светофора. Водители головных автомобилей и водители, следующие за первыми, видя время, остающееся до появления разрешающего сигнала, так или иначе манипулируют скоростью движения автомобиля и тем самым обеспечивают подход к перекрестку головных автомобилей колонны к моменту появления разрешающего сигнала светофора без значительных перепадов в скорости колонн.

Коррекцию скорости автомобилей на перегонах в зависи-

мости от показаний информационных табло можно также производить автоматически путем считывания видеодатчиками в автомобиле информации с табло или светофора, ее обработки и передачи соответствующего сигнала на датчик-регулятор скорости, который производит необходимое изменение скорости автомобиля в соответствии с передаваемой информацией о времени до изменения знака светофора в рамках установленного интервала скоростей, видеодатчики также принимают информацию о наличии пешеходов на автомагистрали и учитывают расстояние безопасности до соседних автомобилей с передачей соответствующих команд на систему управления автомобилем (см., напр., патент РФ № 2317592).

При использовании средств «фазирования» транспортного потока все светофоры магистрали имеют одинаковый цикл работы, или одинаковую продолжительность разрешающего сигнала, что обеспечивает неизменное количество автомобилей в колонне и одинаковый проход колонны через все перекрестки, то есть при появлении запрещающего сигнала в колонне не будут скапливаться дополнительные автомобили. Кроме того, это обеспечит синхронизацию движения встречных потоков автомобилей на магистрали.

Длительность разрешающего сигнала соответствует скорости движения транспортного потока между перекрестками при преодолении средней протяженности перегона.

Светофоры соседних перекрестков магистрали работают

в противофазе.

В процессе движения по магистрали часть автомобилей покидает магистраль, что уменьшает количество автомобилей в колонне. Поэтому для поддержания высокой эффективности использования магистрали и высокой эффективности использования транспортных средств необходимо регулировать количество автомобилей в колонне.

Для регулирования числа автомобилей в колонне можно использовать датчики подсчета автомобилей наиболее подходящего для конкретного случая типа, например, видеокамеры, применение которых позволяет не повреждать дорожное покрытие, и для использования которых уже разработано много сравнительно недорогих программ. Можно также использовать различные датчики движения, например, индукционные датчики и т.д. С их помощью, фиксируется число автомобилей, движущихся в колонне. Далее обработанная информация передается на управляющее устройство, которое дает команду на включение разрешающего сигнала въездного светофора с бокового направления только при уменьшении числа автомобилей в колонне на 20%, например, со 100 автомобилей до 80 и переключает сигнал въездного светофора на запрещающий, когда число автомобилей в колонне восстановится (до 100) за счет въехавших автомобилей. Совокупность этого оборудования составляет на каждом перекрестке своего рода автомат управления движением.

Практически, число автомобилей в колонне определяется параметрами магистрали и длительностью разрешающего сигнала светофора.

Следует отметить, что остановка тех или иных автомобилей не опасна, так как эти автомобили отсекаются от одной колонны и присоединяются к другой. А неодинаковая протяженность перегонов между перекрестками и возможная неодинаковость запрещающих движение сигналов компенсируются изменением скорости движения колонны между перекрестками.

Информировать водителей о времени переключения светофора можно различными способами. Например, перед появлением разрешающего сигнала включать желтый сигнал или большими цифрами на фоне красного сигнала сообщать об остающемся времени до появления разрешающего (зеленого) сигнала светофора. Также можно использовать табло большого размера.



## Глава 5

Краткий анализ и сравнение решений, обеспечивающих безостановочное движения автомобилей на городских магистралях.

Все обозначенные выше способа установления безостановочного движения на магистралях, являются принципиально новым подходом к организации безостановочного движения по причине того, что все известные методы борьбы с пробками оказались неэффективными. И это неудивительно, так как еще несколько лет назад было доказано, что даже теоретически данная проблема не решаема.

Парадоксально, но чем больше строилось дорог, развязок, чем больше использовалось интеллектуальных систем и прочих автоматизированных систем, тем больше становились пробки. Наглядно это видно на примере Москвы, Нью-Йорка и других мегаполисов. Поэтому в ряде городов (Лондон, Стокгольм) были вынуждены ввести ограничения на проезд автомобилей.

Таким образом, можно сказать, что если магистрали Вашего города действительно перегружены, особенно в часы пик, то никакие меры по реконструкции и прочие традиционные способы решения транспортных проблем не смогут разгрузить магистрали.

Поэтому мы не теряем надежды, что наш основной принцип: отказаться от бесполезной борьбы с пробками в условиях перегрузки магистралей, а просто не допускать режимов, при которых они возникают, будет восприниматься более адекватно.

Иначе говоря, все традиционные организационные и технические меры, как показала практика по организации движения в крупных городах за границей, эффективны только до начала процесса перегрузки автомагистралей (имеются в виду магистрали без светофоров типа ТТК или МКАД в Москве), при котором возможности магистралей по поддержанию режима свободного потока (пропускная способность одной полосы движения составляет порядка 2000 автомобилей в час), исчерпываются. И это можно объяснить стремлением на магистрали такого числа автомобилей, которого они вместить не могут, что быстро ведет к уплотнению транспортного потока, снижению скорости движения до 10-15 км/час, а затем возникновению заторов, пробок, аварийных ситуаций. Поэтому мы предложили методику сохранения режима свободного потока на действующих магистралях без перекрестков, не допуская существенного уплотнения транспортных потоков, усовершенствовав американскую методику локального контролируемого въезда на магистраль ramp metering.

Что касается магистралей со светофорами (регулируемыми перекрестками, или со старт-стоповым режимом движе-

ния), которые большей частью используются в городах всего мира, то возможность полосы движения подобных магистралей составляет в среднем 500 автомобилей в час, а максимальная пропускная способность полосы движения составляет не более 800 автомобилей в час.

Такую магистраль можно превратить в магистраль без перекрестков, перебросив через нее эстакады. При этом пропускную способность полосы движения может быть увеличена до 2000 автомобилей в час. В ряде случаев это целесообразно, но недешево и требует времени, как и установка над такой магистралью продольно эстакад с повышенной пропускной способностью, например в два уровня. Однако в ряде случаев, особенно, если подобная магистраль имеет не менее шести полос движения, можно сравнительно недорого преобразовать ее в магистраль с безостановочным движением автомобилей в виде колонн с разрывами между ними, повысив пропускную способность ее полосы движения до 1000-15000 автомобилей в час без всякого дополнительного строительства. Это внешне напоминает «зеленую волну», но, по сути, существенно отличается из-за использования нескольких необычных, но эффективных подходов, позволяющих все время удерживать скоростное, безостановочное движение синхронно в обоих направлениях, и тем самым, обеспечивать переход пешеходов и проезд автомобилей поперек магистрали в разрывы между колоннами.

Обе методики характерны еще и тем, что практически

удается сохранить скоростное, безостановочное движение даже при авариях на магистрали или при ремонте части ее полос движения.

### 1. Магистраль-эстакада с паркингом.

Двухэтажная закрытая магистраль-эстакада (с верхним парковочным уровнем и установками по нейтрализации выхлопного газа) на стальном каркасе и со стальными пролетами, покрытыми тонким слоем сталефибробетона [1,2,4], предназначается для легковых автомобилей (90% всех автомобилей).

Этажи эстакады связаны между собой и наземным уровнем внешними и/или внутренними межэтажными переездами. По краям каждого этажа расположены буферные полосы. Число въездов и съездов согласовано между собой, на въездах установлено оборудование для осуществления в случае необходимости контролируемого въезда автомобилей.

Восемь полос движения на обоих этажах обеспечивают в сумме пропускную способность порядка 16 тыс. автомобилей в час. Безостановочность движения обеспечивается буферными полосами и межэтажными переездами. Максимальный интервал скоростей, в котором пропускная способность сохраняется практически на одном уровне составляет 30-100 км/час. Вытяжки с разрядниками, регулярно установленные на всех уровнях замкнутого пространства эстакады, обеспечивают нейтрализацию выхлопа и делают магистраль экологически безопасной (чистой).

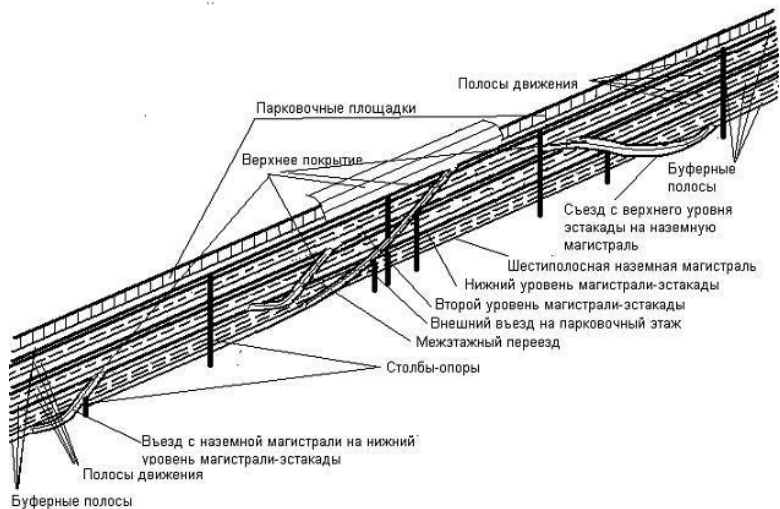
На одном км верхнего уровня эстакады могут парковаться от 600 до 1000 легковых автомобилей, которые могут въезжать на парковочный уровень как с любого этажа эстакады, так и с наземного уровня.

Удельная стоимость полосы движения составляет \$0,9-1,0 млн., а затраты на установку одного километра эстакады составляют \$7 – 7,85млн. Стоимость квадратного метра пролетов всех трех уровней, включая парковочный (54000м<sup>2</sup>), составляет \$145, а стоимость 1 м<sup>2</sup> полос движения (восемь полос шириной 3 метра каждая, всего 24000м<sup>2</sup>) – \$330. При этом в данную стоимость входят стоимость всех материалов и затраты на изготовление типовых блоков, их доставка, заработная плата с учетом налогов, стоимость подготовительных работ, стоимость аренды машин и механизмов для сборки, стоимость вытяжек с нейтрализаторами выхлопа и т.д. Сравнительно низкие затраты на строительство эстакады-магистралей в основном определяются ее быстрой установкой с монтажом на болтах типовых металлических блоков и секций.

Кроме того, из сравнения массы аналогичных конструкций из бетона и на основе металлопроката видно, что эстакады на стальном каркасе в несколько раз легче, несмотря на то, что не менее 50% их массы приходится на сталефибробетонное дорожное покрытие. Вместе с тем, стоимость их конструкций примерно одинаковая, если принять стоимость металлоизделий по \$ 1000 за тонну.

Что касается стоимости различных металлоизделий, то их удельное распределение и соответственно стоимость таковы: 80% черного металлопроката – это стальные плиты пролетных участков (лист толщиной 10 мм 24-27 тыс. руб. за тонну, швеллер – от 25500 руб. до 29000 руб. за тонну), 15% – продольные и поперечные двутавровые балки (28800 руб. за тонну), 2% – опоры-колонны в виде труб (41000 руб. за тонну). Эти данные по цене взяты на конкретных московских предприятиях, продающих металлоизделия указанных видов. Примерно такие же цены на данную продукцию и на других аналогичных предприятиях. Так что превышения стоимости новой конструкции по материалу не обнаруживается, а цены на стальную основу эстакады в среднем составляют несколько менее \$1000 за тонну, а остальное – это тот же бетон и прочее. При этом блоки и секции конструкции на открытых участках защищаются антикоррозионным покрытием, а между поверхностью пролетных участков из металла и сталефибробетонным дорожным покрытием прокладывается гидроизоляция.

Удельные показатели этого типа эстакады-магистрالی таковы: масса стали – 4100 т., масса цемента – 7100 т.



На рисунке выше показана эстакада с внешними въездами, съездами, переездами с этажа на этаж, а на рисунке (глава 2) показана конфигурация полос для перемещения автомобилей последовательно с этажа на этаж эстакады (внутренние переезды).

2. Упрощенный вариант двухуровневой магистрали-эстакады (без парковочного этажа и очистных установок).

Этот вариант эстакады-магистрали также имеет восемь полос движения на обоих этажах [1,2,4], но не имеет пар-

ковочных площадок и очистных установок. Поэтому удельные затраты на нее составляют примерно \$5 млн. Стоимость 1 км полосы движения составляет порядка \$0,6 млн. Стоимость квадратного метра пролетов двух этажей (36000м<sup>2</sup>) составляет около \$140. Сравнительно низкие затраты на строительство эстакады-магистральной в основном определяются ее быстрой установкой с монтажом на болтах типовых металлических блоков и секций.

Чтобы устранить непонимание того, каким конкретным образом достигается столь низкие затраты, отметим следующее.

Прежде всего, необходимо иметь налаженное производство типовых секций и блоков эстакады, которые своевременно доставляются на подготовленную площадку для их сборки в основном болтовыми соединениями с минимумом сварочных работ подготовленной бригадой специалистов при наличии соответствующего оборудования и механизмов. Эта процедура по заранее отработанной схеме занимает небольшой период времени, зависящий от протяженности участка, степени подготовленности сборочных площадок, наличия сборочных узлов, организации их подвоза, ресурсов рабочей силы, оборудования и т.д.

В Китае, например, тридцатипятиэтажный небоскреб в начале 2013 году собрали за две недели.

Установка свайного каркаса из стальных труб так же не занимает много времени при условии того, что трубы вбива-



ются в заранее определенные точки в соответствии с данными грунтовой разведки и схемами проложенных городских коммуникаций. Движение автомобилей при этих операциях по наземным магистралям не прерывается. Известные и давно отработанные процедуры нанесения антикоррозийного покрытия, гидроизоляции, сталефибробетона и т.п. так же делятся недолго при соответствующей подготовке специалистов и материала, как и монтаж боковых стенок и крыши из негорючего пластика. Оснащение эстакады оборудованием и приборами, такими как въездные светофоры с радарам и контроллерами, источники света, видеорегистраторы, линии связи, табло, датчики для мониторинга, противопожарное и эвакуационное оборудование, следящие центры, возможные вертолетные площадки, различные сопутствующие навески в виде кабелей и трубопроводов так же не может быть долгим, если такое оборудование подготовлено и доставлено на площадку вовремя. То есть процедура должна быть отработана до деталей, подготовительные работы завершены, арендованные машины и механизмы готовы к работе, специалисты тоже готовы, типовые блоки изготовлены и подвозятся с нужной периодичностью к уже смонтированному каркасу. Все это сравнительно несложно, если заранее отработано на экспериментальном образце. После этого эстакады-магистрали по уже отлаженной технологии и при промышленном изготовлении типовых блоков быстро устанавливаются в определенных местах города и пригорода для «искорене-

ния» пробок.

Что касается проблемы нахождения дополнительных площадей для въездных и съездных пандусов на новую эстакаду при условии плотной городской застройки, то эта проблема уже давно нашла свое разрешение в других городах (напр., Токио с его наиболее плотной застройкой).

В Токио въездные и съездные участки поднимают над тротуарами и улицами. Это тем более легко осуществить при наличии легкой в сравнении с громоздкой бетонной эстакадой конструкции, что эти участки можно монтировать не на громоздких бетонных колоннах, а на стальных опорах-трубах сравнительно небольшого диаметра. При условии плотной застройки можно также выбрать из наших технических решений вариант конструкции эстакады с внутренними межэтажными переездами. Съезды и въезды в этом случае могут выводиться непосредственно на одну из наземных полос движения магистрали, не выходя за пределы проекции эстакады на наземную магистраль.

По вопросу общей пропускной способности всего сооружения, которое может иметь начало и конец, то есть точки концентрации транспорта, на которых в обычных условиях падает средняя скорость движения, можно сказать следующее.

В городах, как правило, следует устанавливать сквозные магистрали-эстакады, начинающиеся в одном пригороде и заканчивающиеся в другом пригороде с противоположной

стороны. Они могут огибать центр города, чтобы не затрагивать его достопримечательности. Подавляющая часть автомобилей поэтому и при наличии достаточно частых съездов покидает магистраль отнюдь не конечных точках, которые находятся в дачной местности и до которых доезжают немногие автомобили. Так что эти конечные точки становятся уже не точками концентрации.

Далее, кроме сквозных магистралей-эстакад устанавливаются и кольцевые эстакады, которые вообще не имеют точек концентрации транспорта, так как не имеют концов. Что же касается возможного сочленения магистралей, то, в частности, в Южной Корее предложен вариант сочленений для многоуровневых эстакад [8]. Но, естественно, могут быть и другие варианты сочленений или могут быть обычные развязки.

И даже, если допустить появление точек концентрации, то падение скорости по всей магистрали не происходит, поскольку это тот же случай возникновения затора. И решается он применением нашей усовершенствованной методики *ramp metering* [5], то есть применением контролируемого въезда с использованием сквозных буферных полос.

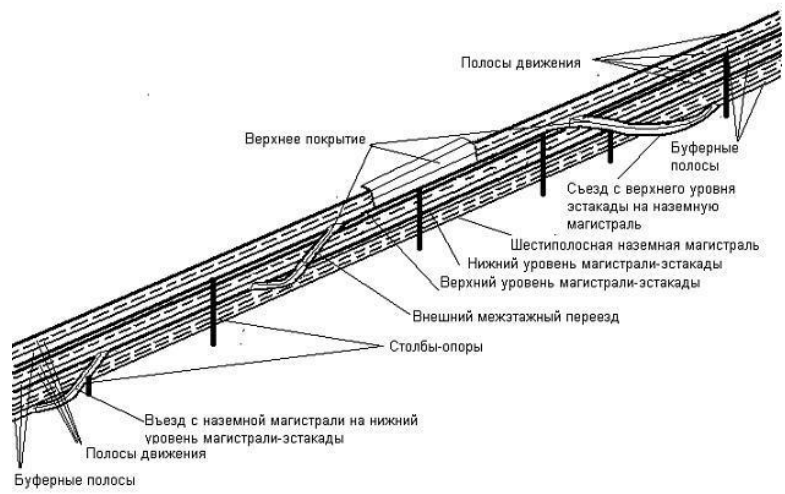
Удельные показатели данного типа эстакады-магистрали: масса стали – 2600т, масса цемента – 4500 т.

Магистраль-эстакада может быть надземной частью загруженной значительную часть суток городской магистрали, а также и надземной частью перегруженной междугород-

ней магистрали. Например, в случае установки над наземной магистралью восьмиполосной магистрали-эстакады, на ее первый или второй этаж легковые автомобили с наземной магистрали проезжают по боковому отводу-въезду (на этом участке магистрали, во избежание торможения основного транспортного потока, перед въездом формируется буферная полоса), а также могут въезжать на второй этаж с первого этажа по межэтажному переезду. С второго этажа магистрали-эстакады легковые автомобили, проехав свою часть пути, могут съехать по боковому отводу-съезду на наземную магистраль непосредственно или спустившись со второго этажа на первый по межэтажному переезду, а затем с первого этажа по съезду на наземный уровень. При этих переездах, во избежание заторов, используются буферные, или резервно-технические полосы. Кроме того, на прилегающих к съезду с магистрали-эстакады участках наземной магистрали для облегчения выезда автомобилей с этажей магистрали-эстакады на полосы движения наземной магистрали по ее краю формируется буферная полоса. Распределение автомобилей при проезде осуществляется следующим образом: автомобили, въехав, например, на полосы движения первого этажа через буферную полосу магистрали-эстакады могут так и следовать по полосам движения первого этажа или, при более разреженном движении на втором этаже, следуя указателям, переехать на него.

При этом наземная магистраль может быть предоставлена

движению в основном грузового и другого тяжелого транспорта.



### 3. Одноуровневая магистраль-эстакада.

Если, к примеру, в городе нагрузка (пропускная способность на магистраль) на магистраль в ближайшие годы, по расчетам, не должна превысить 10 тысяч автомобилей, то достаточно будет установить над наземной магистралью один

уровень эстакады с четырьмя полосами движения и двумя буферными полосами с организацией указанным образом безостановочного движения с пропускной способностью для одной полосы движения 2000 автомобилей в час. Тогда въезды на надземный уровень и съезды с него на наземную магистраль становятся переездами с наземного уровня на надземный и интегральная, или суммарная пропускная способность надземной и наземной магистралей будет более 10000 автомобилей в час. При этом затраты на монтаж и установку одноуровневой эстакады на стальном каркасе по сравнению с двухуровневой уменьшатся примерно вдвое и составят около \$2,5млн. на один километр. Удельная себестоимость одной полосы движения на эстакаде останется примерно той же, что и для двухуровневой эстакады – \$0,6млн. Средняя скорость движения по надземной магистрали составит порядка 75 км/час.

Известна практика установки одноуровневых эстакад вдоль магистралей и над ними во Вьетнаме. Однако там режим движения на наземной и надземном уровнях остается традиционным, за единственным исключением: направление движения на обоих уровнях устанавливается противоположным. Иначе говоря, к примеру, если по наземному уровню автомобили движутся на юг, то по надземному уровню автомобили движутся на север.

Если же расчеты по величине пропускной способности не оправдаются, то несложно над имеющимся уровнем эстака-

ды смонтировать еще один уровень, увеличив суммарную пропускную способность эстакады до 16 тысяч автомобилей в час.

4. Организация безостановочного движения на действующих наземных магистралях без перекрестков.

Методика организации безостановочного движения автомобилей, то есть движения без пробок и заторов, разработанная нами для путепроводов и надземных магистралей вполне пригодна и для обычных наземных магистралей без светофоров (без перекрестков) с тем ограничением, что, в отличие от многополосных эстакад со связанными уровнями, число полос на наземной магистрали сравнительно невелико и суммарная пропускная способность трассы также меньше [5]. Однако, несмотря на это, при определенных нами условиях и на наземной магистрали можно установить выгодный режим безостановочного движения.

Отметим некоторые признаки этой методики. На основе известной методики управления дорожным движением *gap metering* (США) [3], то есть осуществления контролируемого въезда на отдельные участки дороги и с учетом новой парадигмы в теории транспортных потоков Семенова В.В. [9], разработана методика, позволяющая в любом случае удерживать плотность транспортного потока в заданных рамках не на отдельных участках, а на всем протяжении магистрали и не допускать падения его скорости ниже заданного уровня. Для этого, то есть для поддержания непрерывности и высо-

кой скорости движения транспортного потока, предпринимается следующее. Крайние правые полосы в каждую сторону движения по магистрали переводятся в буферные, то есть используются только для въезда на магистраль, съезда с нее, а также для объезда случившихся аварий или при ремонте. На каждом въезде на магистраль устанавливаются светофоры, управляемые через контроллер радарными по программе, которая запрещает автомобилям въезд при падении скорости потока ниже, например, 60 км/час. В результате, транспортный поток на оставшихся полосах движения превращается в свободный, скоростной, непрерывный и с пропускной способностью для каждой полосы движения около 2000 автомобилей в час [5].

Вместе с тем, надо отметить, что для преобразования магистрали с перекрестками в магистраль без них необходимо установить надземные или подземные путепроводы для пересекающих магистраль автомобилей и пешеходов.

В частности, нами предложен вариант надземных легких эстакад на стальном каркасе максимально простой конструкции в качестве переездов с односторонним движением через магистраль с боковых улиц. Рисунки и описание конструкций даны в предшествующей главе.

5. Организация безостановочного движения на действующих наземных магистралях с регулируемыми перекрестками.

Если возможности переоборудовать магистрали с регули-



руемыми перекрестками (со светофорами) в магистрали с непрерывным движением (без светофоров) не имеется, то можно применить другую нашу методику организации безостановочного движения – на магистралях со светофорами (перекрестками), суть которой сводится к установлению на магистрали непрерывного движения автомобилей колоннами, в разрывы между которыми попадает промежуток времени, необходимый для проезда пересекающих магистраль автомобилей и для перехода пешеходов через перекресток [5]. В этом случае, как и в первом, крайние правые полосы в каждую сторону движения по магистрали переводятся в буферные, то есть используются только для въезда на магистраль, съезда с нее, а также для объезда случившихся аварий или при ремонте части полос движения. На каждом въезде на магистраль устанавливаются светофоры, управляемые через контроллер пересчетными датчиками по программе, которая запрещает автомобилям въезд на магистраль до снижения числа автомобилей в колонне до установленного уровня, например, до уровня в 80% от максимально возможного числа автомобилей в колонне при средней скорости транспортного потока, например, 75 км/час.

В результате, транспортный поток в виде отдельных автомобильных колонн на оставшихся полосах движения превращается в скоростной, непрерывный и с пропускной способностью для каждой полосы движения до 1500 автомобилей в час, несмотря на наличие на магистрали перекрестков.

При этом он является синхронным в обоих направлениях, в отличие от, так называемой, «зеленой волны». При этом, во избежание торможения потока, левый поворот на магистрали запрещается.

Таким образом, на магистралях со светофорами (с перекрестками) так же быстро и сравнительно недорого может быть использована модификация методики организации безостановочного движения автомобилей в виде их движения колоннами с разрывами, во время которых осуществляется переезд автомобилей и переход пешеходов через перекресток. Методика отличается от известной «зеленой волны» синхронностью движения колонн в обоих направлениях благодаря синхронности работы светофоров в обе стороны движения и применением принципа «фазирования», или участия водителей переднего фронта каждой колонны в своевременном подводе колонны к разрешающему проезду сигналу светофора.

Краткое сравнение предложенных решений по экономическим показателям.

Для иллюстрации рассмотрим преобразование обычной шестиполосной магистрали с регулируемыми перекрестками (светофорами) протяженностью 20 км в скоростную, безостановочную (беспробочную) магистраль с повышенной пропускной способностью.

Во-первых, над ней продольно можно установить закрытую эстакаду на стальном каркасе с двумя уровнями дви-

жения и парковочным этажом, добавив, таким образом, к наземным полосам движения еще 8 полос движения с пропускной способностью 16 тыс. автомобилей в час и средней скоростью движения автомобилей по ним 75 км/час. Установить, оснастить оборудованием, опробовать и запустить в действие эту эстакаду можно за несколько месяцев при условии, что будет изготовлено соответствующее количество типовых блоков для быстрой сборки эстакады. Затраты на это экологически безопасное (чистое) и беспробочного сооружение:  $\$7,85\text{млн.} \times 20 = \$ 157\text{млн.}$

Во-вторых, над шестиполосной наземной магистралью можно установить двухуровневую крытую эстакаду на стальном каркасе без парковочного этажа и, таким образом, добавить к наземным полосам движения еще 8-мь полос с пропускной способностью 16 тыс. автомобилей в час и средней скоростью движения автомобилей по ним 75 км/час. Установить эту эстакаду можно за несколько месяцев при условии, что будет изготовлено нужное количество типовых блоков для их быстрой сборки. Затраты на это беспробочное сооружение:  $\$5\text{млн.} \times 20 = \$ 100\text{млн.}$

В-третьих, над шестиполосной наземной магистралью можно установить одноуровневую крытую эстакаду на стальном каркасе и, таким образом, добавить к наземным полосам движения еще 4-е полосы с пропускной способностью 8 тыс. автомобилей в час и средней скоростью движения автомобилей по ним 75 км/час. Установить эту эстакаду мож-

но за несколько месяцев при условии, что будет изготовлено нужное количество типовых блоков для их быстрой сборки. Затраты на это беспробочное сооружение:  $\$2,5\text{млн.} \times 20 = \$50\text{млн.}$

В-четвертых, можно перебросить на перекрестках через магистраль легкие эстакады с односторонним движением с переменной его направления (знака) на соседних перекрестках, перевести крайние полосы магистрали в буферные, установить или перестроить светофорное оборудование на перекрестках для организации при интенсивном движении (часы пик) контролируемого въезда автомобилей на магистраль и, тем самым, обеспечить безостановочное движение с пропускной способностью на полосу движения 2000 автомобилей в час, что составит для 4-х оставшихся от шести полос движения 8000 автомобилей в час (две крайних справа полосы переведены в буферные) вместо, как показывают измерения, в среднем 3000 автомобилей в час на обычной шестиполосной магистрали с регулируруемыми перекрестками, или со старт-стоповым режимом движения. Средняя скорость потока при данной перестройке составит 75 км/час, но не менее 60 км/час, для чего должны быть установлены соответствующие указатели. Установка легких переездов-эстакад и оборудования для контролирования въезда на магистраль на перекрестках в среднем через каждые 0,5 км по предварительным оценкам составляет для одного перекрестка около \$600тыс. Затраты на данное переоборудование в пересчете

на 20 км составят \$0,6млн.  $\times 40 = \$ 24$ млн. Расчет сделан из предположения установки эстакад-переездов через каждые 0,5 км. Эстакады-переезды можно устанавливать и на большем расстоянии, например, 1 км (через один перекресток). Тогда сумма затрат на отрезке 20 км уменьшится примерно вдвое, но и число сквозных переездов тоже уменьшится вдвое.

Для ряда городских магистралей из-за плотной застройки число эстакад-переездов (путепроводов) может быть сведено к минимуму – одна или две на 5-10 км, если их пропускная способность соответствует интенсивности поперечных транспортных потоков, причем локально их пропускная способность может быть увеличена за счет введения второго уровня. Что же касается пешеходов, то для них могут быть сооружены с большей регулярностью недорогие надземные (с эскалаторами) или подземные переходы. Такое решение вопроса поперечного транзита позволит в несколько раз уменьшить финансовые затраты на него.

Администрация каждого города должна решать данный вопрос, исходя из собственных ресурсов, интенсивности движения, плотности застройки, расположения боковых дорог и улиц и т.п.

В-пятых, можно организовать безостановочное движение на магистрали со светофорами (с перекрестками) колоннами с соответствующими разрывами между ними, синхронными в обе стороны движения, для проезда в это время автомоби-

лей, пересекающих магистраль, а также для прохода пешеходов. Для этого, в частности, придется перестроить оборудование на каждом перекрестке для пересчитывания автомобилей в колонне с соответствующим ее дополнением по разрешающему сигналу светофора при определенной убыли автомобилей в колонне за счет съезда автомобилей. Из шести полос движения на магистрали остаются действующими 4 полосы, а 2 переводятся в буферные. Таким образом, пропускная способность полосы движения, которая несколько уменьшится по сравнению с трассой без светофоров (4-й вариант) из-за разрывов между колоннами (меньшая плотность движения), составит в среднем 1250 автомобилей в час на полосе движения и в сумме – около 5000 автомобилей в час вместо 3000 автомобилей в час на шестиполосной магистрали при обычной старт-стоповой организации движения. Средняя скорость составит так же 75 км/час. Затраты на переоборудование перекрестка, по предварительным оценкам, составят порядка \$100тыс, что для всей магистрали со светофорами протяженностью 20 км и перекрестками через каждые 0,5 километра составит в данном случае \$0,1млн.  $\times 40 = \$4$ млн. Стоимость переоборудования может быть существенно уменьшена, если потребуются только замена программного обеспечения с дополнительным монтажом табло.

Для сравнения можно привести следующее.

По данным Минтранса РФ полоса движения наземной магистрали (1км) в среднем по России стоит \$1,5млн. Таким

образом, на строительство шестиполосной наземной магистрали в среднем в России затрачивается около \$10млн, или один квадратный метр этой магистрали стоит около \$500. В пересчете на 20км строительство подобной магистрали в России в среднем стоит \$200млн, причем это строительство обычно затягивается надолго с весьма посредственным качеством на выходе. Средняя скорость движения автомобилей по магистралям такого типа в Москве за сутки по последним данным составляет 24 км/час. Суммарная пропускная способность подобной шестиполосной магистрали со светофорами на перекрестках (старт-стоповое движение) в среднем составляет 3000 автомобилей в час. При этом отметим, что для большинства городов с дорогами земельными участками и плотной застройкой стоимость строительства магистралей существенно больше, а заторы и пробки на них, особенно в часы пик, возникают регулярно.

## Резюме.

Таким образом, администрация города может выбрать наиболее приемлемый вариант по организации безостановочного движения из указанных, исходя из своих финансовых, технических и идеологических соображений, если, конечно, проблема с пробками является для нее актуальной.

Самый дешевый и быстрый (\$200тыс. за два перекрестка), но с увеличением пропускной способности магистрали примерно в 1,5 раза – это вариант 5, который не предполагает

установку эстакад.

Несколько более дорогой (в шесть раз дороже варианта 5 по удельному показателю, то есть при установке двух эстакад-переездов на двух перекрестках 1 км), но с ростом пропускной способности магистрали почти в три раза (вариант 4).

Вариант 3 установки над наземной магистралью с перекрестками на всем ее протяжении одноуровневой эстакады дороже варианта 5 в 12,5 раз по удельному показателю, но позволяет увеличить пропускную способность магистрали интегрально, то есть с учетом наземной части с обычным движением и надземным уровнем со скоростным, безостановочным движением почти в 4 раза, а при преобразовании наземной магистрали в магистраль с безостановочным движением позволяет увеличить интегральную пропускную способность общей магистральной системы более чем в пять раз, но при этом затраты несколько возрастают – на стоимость эстакад-переездов для обеспечения поперечного движения.

Вариант 2 установки над наземной магистралью с перекрестками на всем ее протяжении – продольно – двухэтажной эстакады дороже варианта 5 в 25 раз, но позволяет увеличить пропускную способность магистрали с учетом только эстакады-магистрали более чем в 5 раз.

Вариант 1 установки над шестиполосной магистралью двухэтажной экологически безопасной эстакады с дополни-



тельным парковочным уровнем дорожке варианта 5 почти в 40 раз, но позволяет не только увеличить пропускную способность магистрали интегрально более чем в 6 раз, но и делает воздух в городе чище и предоставляет дополнительные дешевые парковочные места. Кроме того, при существенном увеличении потока автомобилей можно быстро и с минимальными затратами переоборудовать парковочный уровень в уровень движения, повысив пропускную способность эстакады-магистрали на треть, доведя ее с 16 тысяч автомобилей в час до 24 тысяч автомобилей в час.

При этом следует отметить, что интегральную пропускную способность магистралей можно увеличить еще больше, если, наряду с установкой двухуровневой эстакады, наземную магистраль преобразовать в магистраль с безостановочным движением по варианту 4 или 5. В этом случае интегрально пропускная способность магистрали может возрасти максимально – в 8 раз.

Если сравнить среднюю стоимость 1 км полосы движения наземной магистрали по РФ со стоимостью полосы движения на двухэтажной эстакаде без парковочного уровня (вариант 2), то она почти в три раза выше последней, а средняя скорость автомобилей по такой наземной полосе в три раза ниже. При этом следует отметить, что по причине дорогого землеотвода в городах и, как правило, необходимости перекладки теплотрасс и других городских коммуникаций эта удельная стоимость магистрали возрастает до невероятных

величин. Например, в Москве она доходит до \$700млн. за километр.

Кроме этого необходимость организации тем или иным способом безостановочного движения из указанных вытекает и из того обстоятельства, что убытки, следующие за всеобщей автомобилизацией, уже достигли астрономических размеров (см. приведенную выше таблицу).

# Литература

1. Заявка PCT/RU/2009/000661 (WO 2011/068430) «Эстакада для перемещения и размещения транспортных средств на различных уровнях». 2011г. Макаров Ю. Ф.
2. Низовцев Ю.М. Сравнительный анализ основных вариантов организации безостановочного движения на городских магистралях. Россия. Москва. Бюллетень транспортной информации. 04.2013г.
3. Стивен Паркер «Wisconsin Traffic Operations and Safety Laboratory». 2007г. [www.topslab.wisc.edu/projects/3-13](http://www.topslab.wisc.edu/projects/3-13)
4. Низовцев Ю.М. О преобразовании магистралей крупных городов на примере Москвы в магистрали с безостановочным движением и практически неограниченной пропускной способностью. Россия. Москва. Бюллетень транспортной информации. 05.2013г.
5. Макаров Ю. Ф., Низовцев Ю.М. Разработка технических решений для реализации принципа безостановочного движения автомобилей по магистралям (без заторов и пробок). Россия. Москва. Бюллетень транспортной информации. 11.2013г.
6. Низовцев Ю.М., Низовцев А.Ю. Комбинированная транспортная магистраль, объединяющая в одном объеме на двух связанных уровнях железнодорожные и автотранспорт-

ные полосы движения, трубопроводы, линии связи и другие коммуникации. Экономическая оценка. Россия. Москва. Бюллетень транспортной информации. 02– 03.2013г.

7. Низовцев Ю.М., Низовцев А.Ю. Двухуровневый разгрузочный беспробочный путепровод. Варианты конструкции и их экономическая оценка. Россия. Москва. Бюллетень транспортной информации. 11.2012 – 01.2013гг.

8. Заявка РСТ WO 0194702 (A1). Haeng Lee Soo [KR]. 13.12.2001.

9. Семенов В.В. Смена парадигмы в теории транспортных потоков ИПМ им. М.В.Келдыша РАН. М., 2006г.

10. Афанасьев М.Б. Транспортный поток. 2009 г.