

Доктор Ф. Аппельт, генеральный директор А+С Консалт
С.А. Давыдов, руководитель проектов А+С Консалт

Выбор схемы пересечения

При постоянно возрастающих интенсивностях движения нельзя отвергать факт перегруженности ключевых магистралей и их пересечений. Пересечения являются наиболее критическим звеном в формировании заторов, поэтому требуется более профессионально подходить к их проектированию, не ограничиваясь только требованиями существующей нормативной документации в области проектирования дорог, а применять широкий круг знаний из области проектирования дорог, транспортного планирования, психологии, экологии и других наук.

Обзор ситуации

В настоящее время существующая в России нормативная документация недостаточно глубоко и четко освещает вопрос проектирования транспортных развязок. В [1] проектирование транспортных развязок затронуто только в общих чертах. Более подробно геометрическое проектирование пересечений и примыканий рассмотрено в [2], который все же носит более рекомендательный характер. Также есть документ [3], в котором рассмотрены некоторые условия безопасности движения водителя по транспортным пересечениям.

В то же время, анализируя учебную литературу [4], можно заметить рассматриваемые варианты транспортных узлов, не встречающиеся в современной практике проектирования ни в России, ни за рубежом (например, криволинейный четырехугольник с 16 путепроводами, крестообразный тип пересечения с 8 путепроводами) из-за невысокой безопасности дорожного движения, дороговизны, сложности конструкции. А более распространенным типам пересечений уделено столько же внимания, несмотря на гораздо более широкий опыт и перспективы использования.

Функциональное соответствие принципиальной схемы транспортной развязки пропускаемым потокам

Без комплексного подхода с точки зрения безопасности и интенсивностей движения транспортных потоков невозможно подобрать правильные принципиальные схемы конкурентных вариантов транспортных развязок. Однако особенности проектирования транспортных развязок исходя из безопасности и интенсивностей прямых и поворачивающих потоков очень слабо рассмотрены в отечественной литературе [1, 2, 4]. Большой упор при проектировании устанавливается на вписывание в местные условия.

Учет перспективных транспортных потоков по всем направлениям на 10 и 20 лет вперед позволит соот-

ветствовать требуемой пропускной способности и снизить затраты на мероприятия, связанные с повышением пропускной способности узла в будущем.

Излишнее развитие транспортной развязки или на чем сэкономить?

В России сложился стереотип, что транспортная развязка должна развязывать все направления преимущественно с помощью безостановочного движения, с одинаковыми пропускными способностями съездов по всем направлениям. Этим требованиям отвечает сравнительно недорогая развязка типа полного клеверного листа (рис. 1), которая и получила широкое распространение.

Однако, как показывает зарубежный опыт, можно серьезно экономить строительные расходы и расходы, связанные с выкупом земель. Для этого необходимо тщательно подходить к транспортному обследованию. Например, за городом очень часто игнорируется



Рис. 1. Транспортная развязка типа «клеверный лист»: а – скриншот из KorFin, б – из [5]

схема неполного клеверного листа, в котором по первостепенной дороге организовано безостановочное движение съезжающих и въезжающих потоков, а на второстепенной дороге устроено два Т-образных примыкания в одном уровне (рис. 2). При соответствующих интенсивностях движения на съездах такой тип развязки себя оправдывает. Работа подобной транспортной развязки проверяется имитационным моделированием движения транспортных потоков.

Правильное расположение съездов неполного клеверного листа

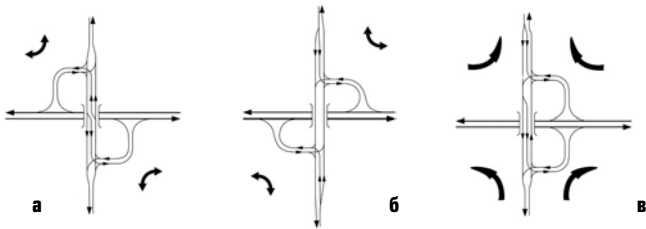


Рис. 2. Варианты расположения съездов развязки типа неполного клеверного листа и приоритетные направления потоков [5]: а, б – несимметричные, в – симметричное пересечение

При выборе схемы неполного клеверного листа также важно учитывать приоритетные направления съездов. Особенность такого пересечения в том, что некоторые потоки совершают исключительно правые повороты, а некоторые – левые в районе примыкания в одном уровне. На рис. 3 изображены три схемы пересечения с различными приоритетными потоками.

Однако, кроме приоритетных направлений потоков в схемах а, б, и в есть существенная особенность, которую также необходимо учитывать при проектировании и планировании реконструкции пересечения в будущем. Как видно из рисунка в первом случае (рис. 2а), левоповоротные потоки второстепенной дороги располагаются на полосах между съездами, и их протяженность ограничена расстоянием между этими съездами. В случае увеличения данных потоков возможности удлинить полосы не будет. Во втором варианте (рис. 2б) данные полосы располагаются за пределами съездов, поэтому их удлинение осуществимо относительно легко. Также наличием левоповоротных полос обусловлена и значительная ширина моста в вариантах на рис. 2а и 2в.

Когда экономить нельзя

При пересечении дорог высоких категорий с большими интенсивностями движения необходимо устраивать транспортные развязки с непрерывным движением на обеих дорогах. Однако при этом необходимо выделять наиболее мощные сворачивающие потоки и подбирать для них наиболее комфортные условия движения с помощью правильного расположения

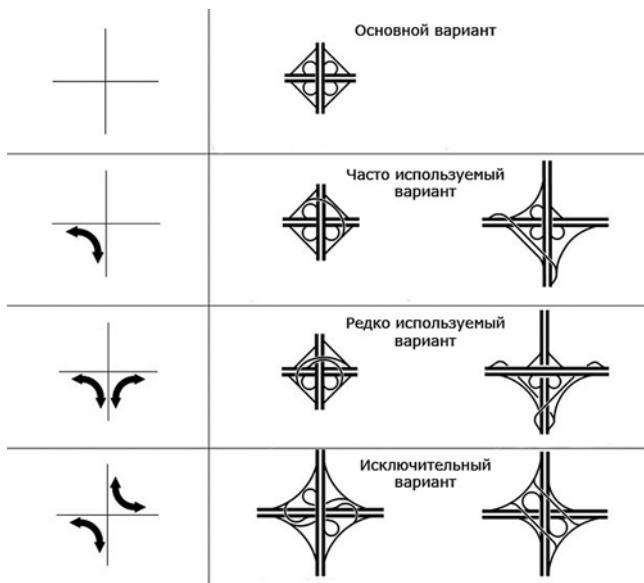


Рис. 3. Варианты транспортных развязок с учетом наибольших интенсивностей на съездах [5]

съездов. На рис. 3 указаны некоторые варианты модификации полного клеверного листа из [5].

Как видно из рис. 3, без выраженных интенсивностей вполне подходит стандартный клеверный лист. А при появлении хоть одного сильного поворачивающего потока геометрия соответствующего съезда изменяется, приводя к дополнительным расходам на строительство, но при этом серьезно увеличивая пропускную способность направления и комфорт для водителей.

Для сокращения строительных затрат на начальном этапе в Германии проектом часто предусматривается реконструкция транспортной развязки в будущем, а строится более экономичный вариант.

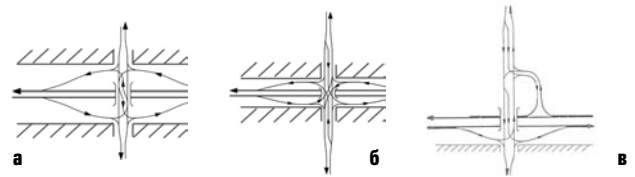


Рис. 4. Варианты развязок на застроенной территории [5]: а – часто используемая ромбовидная развязка с двумя перекрестками, б – редко используемая ромбовидная развязка с одним перекрестком, в – часто используемая особая форма для учета местных условий

Пересечения на застроенной территории

На застроенной территории существенно возрастает стоимость земли для размещения пересечений. Поэтому необходимо рассматривать наиболее компактные варианты пересечений транспортных коридоров в пределах города (рис. 4).

Изображенная на рис. 4а ромбовидная развязка с двумя перекрестками – модификация неполного клеверного листа с четырьмя однопутными съездами, выполненная для сжатых городских условий. К плюсам данной развязки можно отнести удобство проезда транспортных средств, малую потребность в площади по сравнению с неполным клевером, мощность развязки при использовании светофорного регулирования, возможность разворота для технологических транспортных средств. Минусами является частое управление движением светофорами на второстепенной дороге, относительно широкий путепровод, возможности ошибки водителя при выборе направления движения.

Плюсами ромбовидной развязки с одним перекрестком (рис. 4б) являются удобство проезда транспортных средств, большие пропускаемые интенсивности по сравнению с 4а, меньшая по сравнению с 4а потребность в площади, меньшие по сравнению с 4а границы развязки на основной дороге (протяженность от начала первого до конца последнего съезда). К минусам можно отнести управление движением исключительно светофорами на второстепенной дороге, огромный путепровод при широком поперечном профиле основной дороги, отсутствие возможности разворота.

Подобные пересечения (рис. 4а, б) устраиваются, как правило, с основной дорогой в выемке и со съездами в подпорных стенках. Возможны и комби- ▶



Рис. 5. Узвязка трех высокоскоростных (красные стрелки) и трех уличных (желтые стрелки) направлений в Берлине (снимок из Google Earth)

нированные пересечения, для применения которых необходимо взвесить все плюсы и минусы. На **рис. 4в** изображен случай с плотной застройкой с одной из сторон транспортной развязки.

Для пересечений высокоскоростных магистралей в пределах города нередко требуется индивидуальный подход как к выбору места подобного пересечения, так и к принятию принципиальной схемы транспортной развязки. Но основной принцип выбора схемы — выделение приоритетных потоков и предоставление им максимального комфорта для движения (**рис. 5**).

Отдельным и очень важным вопросом является предусмотрение мест установки указателей направлений уже на стадии выбора принципиальной схемы. Удобное размещение указателей влияет на размеры съездов, а следовательно, на размер пересечения и количество полос на транспортной развязке.

Водитель должен меньше сомневаться, быстрее ехать, вовремя занимать нужную полосу и не допускать ошибок, заезжая не на тот съезд. Всему этому способствует планирование расположения указателей при выборе схемы пересечения. Иначе это приведет к потере пропускной способности транспортного пересечения.

Безопасность дорожного движения на транспортных развязках и комфорт для водителя

Безопасность дорожного движения является наиважнейшей характеристикой автомобильной дороги. Германия является одной из передовых стран по развитию автодорожной инфраструктуры, а также норм проектирования. По основному закону скорость движения по автобанам не ограничена, за исключением некоторых участков из-за старого покрытия или ремонта. Однако статистика утверждает, что в Германии в 2009 году на дорогах погибло 4 160 человек (1 человек из 22 500 жителей) [6], в России же 26 084 человека (1 человек из 5 700 жителей) [7].

Существенную часть аварий можно избежать, правиль-

но выбирая сочетание геометрических элементов автомобильной дороги и узлов, предупредительных элементов, элементов оснащения автомобильных дорог и так далее.

Важным условием проектирования дорог является то, что водитель имеет право на ошибку, но последствия этой ошибки должны быть минимальными.

Соответственно, задачей проектировщика с точки зрения безопасности является:

- предоставить комфортные условия проезда, исключающие ошибку водителя;
- в случае возникновения ошибки водителя, минимизировать ее последствия.

Регулирование поведения водителя на дороге

Геометрия дороги и окружающая ситуация влияют на скорость транспортного средства. Чем шире проезжая часть, тем выше выбираемая скорость одиночного транспортного средства. Чем прямее дорога и меньше поворотов, тем выше скорость транспортного средства. Более того, водитель часто теряет контроль расстояния и скорости. Ему постоянно кажется, что он едет медленно.

На наших дорогах очень часто можно встретить протяженные прямые участки дорог связанные кривыми малого радиуса. Такая геометрия, с одной стороны, позволяет водителю развить максимальную для автомобиля скорость, с другой стороны, водителю приходится резко тормозить перед поворотом. Дорожный знак, предупреждающий о повороте, может быть не замечен водителем.

Еще одним отрицательным фактором долгих прямых участков является монотонность, которая приводит к потере внимания и сонливости.

По опыту эксплуатации дорог в Германии выявлено, что, несмотря на выгодность прямых с точки зрения кратчайшего расстояния между пунктами, они являются и наиболее опасными элементами автомобильных дорог для водителей. Например, самый аварийно опасный автобан в Германии — это А2 Берлин — Ганновер, который состоит из протяженных прямых участков. На основе исследований в Германии принят норматив максимальной длины прямого участка $L=20V_{расчетная}$ [5]. То есть при расчетной скорости 120 км/ч максимальная длина прямой составит 2400 м.

Снизить максимальную скорость на участке возможно разнообразным сочетанием геометрии и окружающей ситуации. Плавные последовательные кривые не дают водителю разогнаться. А замкнутое пространство (например, плотная застройка или частые насаждения) также передают водителю ощущение опасности, и на больших скоростях в таких условиях водитель чувствует себя некомфортно.

Соответствие геометрических элементов ожиданиям водителя

Геометрические элементы дорог и транспортных развязок должны соответствовать ожиданиям водителя. Ожидания водителя в свою очередь формируются привычками и предыдущими элементами. Если предыдущие элементы позволили развить высокую скорость, то устраивать вслед за такими элементами резкий поворот

будет очень опасно. Для того чтобы плавно снизить скорость водителя, необходима последовательность элементов с постепенным изменением параметров. Например, небезопасно после затяжного прямого участка вставлять радиус 200 метров. Однако если вставить между прямой и малым радиусом несколько последовательных кривых с радиусом 2000, 1200, 800, 400 метров в порядке уменьшения, то водитель сам постепенно снизит скорость и будет безопасно подготовлен к крутому повороту.

Рассмотрим пример примыкания в разных уровнях по типу «труба». В [2] говорится, что в зависимости от местных условий и транспортной ситуации может применяться зеркальная схема (рис. 6). В [4] утвержда-



Рис. 6. Варианты примыкания по типу «труба» [4]

ется, что одним из основных определяющих факторов для выбора схемы примыкания типа «труба» являются интенсивности левоповоротных потоков.

Но в данном случае упущен тот факт, что съезжающий по левоповоротному съезду на примыкающую дорогу водитель уже подготовлен к малому радиусу наличием переходно-скоростной полосы, на которой по привычке снижается скорость. А въезжающий по левоповоротному съезду с примыкающей дороги водитель как находился на главной дороге, так и остался на ней, ничто, кроме знаков, не указывает ему о приближении малого радиуса. Именно основываясь на этом доводе, в Германии [5, 8] рекомендуют устраивать примыкание по типу «труба» со съездами с левой стороны от путепровода, так как только в этом случае можно использовать максимально возможные радиусы для данного съезда с обеспечением наиболее высокого уровня безопасности. Кроме того,

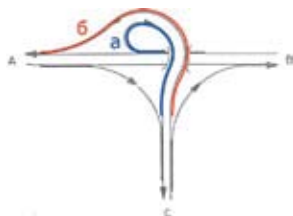


Рис. 7. Рекомендуемая форма примыкания типа «труба» в Германии по условиям безопасности движения [5], а – левоповоротный съезд на примыкающую дорогу, б – левоповоротный въезд с примыкающей дороги



Рис. 8. Тип примыкания «треугольник» на примыкании автобана А17 к А4 (снимок из Google Earth)

необходимо самой геометрией примыкания указывать водителю наличие опасности (рис. 7).

Несмотря на все эти условия, в [5] рекомендуют по возможности рассматривать варианты устройства более безопасного типа примыкания «треугольник» (рис. 8).

Конфликтные точки

Конфликтные точки – это места пересечения, схождения и расхождения транспортных потоков. Наиболее опасными конфликтными точками для транспортных развязок являются места параллельного пересечения транспортных потоков. Они связаны с перестроением двух параллельных потоков. При этом их траектории пересекаются.

При высоких интенсивностях эти конфликтные точки влияют не только на безопасность движения, но также могут привести к образованию заторов (рис. 9). Водителю нужно перестраиваться и в то же время контролировать ситуацию в соседней полосе, интервалы до транспортных средств в обеих полосах и скорости транспортных средств в обеих полосах, а также постоянно проверять слепую зону. Особой проблемой в этом случае являются медленно разгоняющиеся большегрузные автопоезда, которым просто не позволяют перестроиться юркие легковые автомобили и которые тормозят весь транспортный поток.

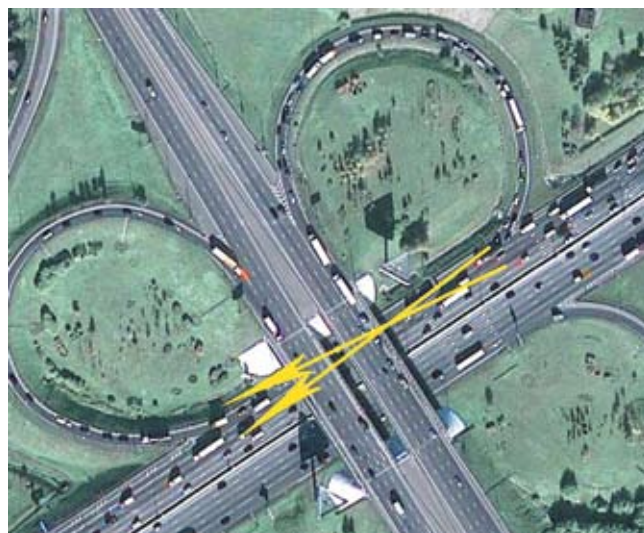


Рис. 9. Затор на съезде, вызванный параллельным пересечением потоков МКАД (снимок из Google Earth)

Предусмотреть данную ситуацию на стадии проекта можно экспертным путем, зная необходимые интенсивности движения. В Германии такую оценку производят с помощью имитационного моделирования транспортных потоков в программе PTV Vision VISSIM.

Самым дешевым улучшением может быть удлинение области перестроения потоков за счет вытягивания левоповоротного съезда вдоль основной дороги. Более дорогим решением является устройство прямого или полупрямого левоповоротного съезда, который позволит совсем избежать области пересечения потоков.

Уменьшению количества опасных зон на транспортных развязках также служат различные усовершенствования форм. Например, в [5] прописано, что наиболее удобные условия движения создаются, когда



Рис. 10. Разделение основных и поворачивающих потоков [8]

на основной дороге съезд находится перед въездом. Для этого предусматривается отделение съезжающих и въезжающих потоков от основной дороги отдельным проездом (рис. 10).

В результате вместо двух съездов и двух въездов на основном ходу находится только один съезд, вслед за которым расположен один въезд. Таким образом, область пересечения потоков переносится с основной дороги на съезд и уменьшается общее количество конфликтных точек для основного транспортного потока. Пересечение потоков на съездах происходит на меньших скоростях. Это в свою очередь увеличивает пропускную способность транспортной развязки и безопасность для водителей. ➔

Литература

1. Государственный всесоюзный дорожный научно-исследовательский институт (Союздорнии): Стро-

ительные нормы и правила. Автомобильные дороги (СНиП 2.05.02-85).

2. Государственный всесоюзный дорожный научно-исследовательский институт (Союздорнии): Технические указания по проектированию пересечений и примыканий автомобильных дорог (ВСН 103-74). – М.: Транспорт, 1975.

3. Московский автомобильно-дорожный институт МАДИ (ГТУ): Отраслевой дорожный методический документ. Рекомендации по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах.

4. Гохман В.А., Визгалов В.М., Поляков М.П. Пересечения и примыкания автомобильных дорог. – М.: Высшая школа, 1989.

5. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Arbeitsgruppe „Straßenentwurf“: Richtlinien für die Anlage von Autobahnen, Ausgabe 2008.

6. Статистика ДТП в Германии http://www.dvr.de/site.aspx?url=html/betriebe_bg/daten/tabelle1.htm

7. Статистика ДТП в России http://www.fcp-pbdd.ru/statistic/news_detail.php?ID=16425.

8. Weise G., Durth W.: Strassenbau. Planung und Entwurf, Verlag fuer Bauwesen GmbH, Berlin 1997.