

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Автомобильные дороги»

ТРАНСПОРТНЫЕ РАЗВЯЗКИ. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Учебно-методическое пособие
для студентов специальности 1-70 03 01
«Автомобильные дороги»

Учебное электронное издание

М и н с к 2 0 1 9

УДК

А в т о р ы :

И.К. Яцевич, Е.И. Кононова

Р е ц е н з е н т ы :

В.А. Гречухин, заведующий кафедрой «Мосты и тоннели» БНТУ, кандидат технических наук, доцент.

В учебно-методическом пособии рассмотрены вопросы проектирования полных транспортных развязок на автомобильных дорогах, рассмотрены элементы транспортных развязок, классификация транспортных развязок и правила их выбора. Детально изложена методика проектирования плана трассы и продольного профиля транспортной развязки «клеверный лист» и «накопительный ромб». Предложенный материал является теоретической основой для выполнения курсового проекта «Проект транспортной развязки» студентами специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги».

Белорусский национальный технический университет
пр-т Независимости, 65, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.(017)267-67-16 факс (017)267-67-16
E-mail: pd_ftk@bntu.by
<http://www.bntu.by/ru/struktura/facult/>
Регистрационный № БНТУ/ФТК74- 6.2019

© Яцевич И.К., Кононова Е.И., 2019

© Яцевич И.К., Кононова Е.И., компьютерный дизайн,
2019

© БНТУ, 2019

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| ВВЕДЕНИЕ | 6 |
| 1. ТРАНСПОРТНЫЕ РАЗВЯЗКИ | 7 |
| 1.1. Элементы транспортных развязок..... | 7 |
| 1.2. Классификация и область применения транспортных развязок | 10 |
| 1.3. Основные схемы полных простых транспортных развязок для четырех направлений | 11 |
| 1.4. Полные улучшенные двухуровневые транспортные развязки для четырех направлений..... | 15 |
| 1.5. Схемы транспортных развязок для трех направлений | 21 |
| 1.6. Неполные транспортные развязки | 26 |
| 1.6.1. «Неполный клеверный лист» | 26 |
| 1.6.2. Неполная транспортная развязка типа «ромб» | 30 |
| 2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНОЙ РАЗВЯЗКИ «КЛЕВЕРНЫЙ ЛИСТ»..... | 32 |
| 2.1. Элементы транспортной развязки «клеверный лист»..... | 32 |
| 2.1.1. Дорожное полотно пересекающихся дорог и соединительных ответвлений. | 33 |
| 2.1.2. Сквозной распределительный проезд. | 35 |
| 2.1.3. Общие сведения о путепроводах..... | 36 |
| 2.2. Определение длины балочного путепровода..... | 38 |
| 2.2.1. Определение длины среднего пролета путепровода. | 39 |
| 2.2.2. Определение длины путепровода | 40 |
| 2.3. Проектирование продольного профиля пересекающихся дорог. | 42 |
| 2.3.1. Проектирование продольного профиля нижней дороги. | 42 |
| 2.3.2. Проектирование продольного профиля верхней дороги. | 46 |
| 2.3.2.1. Проектирование ломаного продольного профиля на подходах к путепроводу. | 48 |
| 2.3.2.2. Определение отметок промежуточных точек продольного профиля..... | 49 |
| 2.4. Проектирование плана трассы левоповоротных соединительных ответвлений на транспортной развязке «клеверный лист»..... | 50 |
| 2.4.1. Проектирование плана трассы ЛПО по типу 1. | 51 |
| 2.4.2. Проектирование плана трассы ЛПО по типу 2..... | 53 |
| 2.4.3. Определение положения начала и конца плана трассы ЛПО по типу 2. | 56 |
| 2.4.3.1. Определение положения начала плана трассы ЛПО по условию расположения трассы ЛПО вне путепровода. | 56 |
| 2.4.3.2. Определение положения начала и конца плана трассы ЛПО по условию расположения ПСП на участке переплетения потоков. | 58 |
| 2.4.3.3. Определение параметров ЛПО по типу 2 на пересечении дорог I категории. | 60 |
| 2.4.4. Определение пикетного положения начала и конца ЛПО..... | 60 |
| 2.5. Дорожное полотно левоповоротных соединительных ответвлений ЛПО и пересекающихся дорог..... | 63 |
| 2.5.1. Определение длины полос торможения и разгона. | 63 |
| 2.5.2. Схемы сопряжения ЛПО, ПСП и участков переплетения потоков. | 65 |
| 2.5.3. Дорожное полотно на сопряжении ЛПО и ПСП. | 67 |
| 2.5.3.1. Дорожное полотно на отмыкании ЛПО от ПСП. | 67 |
| 2.5.3.2. Дорожное полотно на примыкании ЛПО к ПСП. | 69 |
| 2.6. Проектирование продольного профиля ЛПО..... | 70 |
| 2.6.1. Определение отметок и уклонов продольного профиля в контрольных точках | 71 |
| 2.6.2. Проектирование ломанного продольного профиля трассы ЛПО. | 75 |
| 2.6.3. Обеспечение безопасности движения в зоне примыкания ЛПО к дороге. | 78 |
| 2.6.4. Проектирование продольного профиля трассы ЛПО. | 79 |
| 2.7. Проектирование плана трассы правоповоротных соединительных ответвлений..... | 79 |
| 2.7.1. Определение положения оси ЛПО на биссектрисе угла пересечения дорог | 81 |

| | |
|---|------------|
| 2.7.2. Проверка возможности разбивки ППО по вариантам 1 и 2 | 83 |
| 2.7.3. Определение положений вершин углов поворота трассы ППО | 84 |
| 2.7.4. Определение пикетного положения основных точек ППО | 85 |
| 2.7.5 Проектирование плана трассы ППО по варианту 3 | 85 |
| 2.8. Проектирование продольного профиля ППО | 86 |
| 2.9. Проектирование сквозного распределительного проезда | 90 |
| 2.10. Разбивка плана трассы транспортной развязки «полный клеверный лист» | 94 |
| 2.10.1. Разбивка трассы левоповоротных соединительных ответвлений с использованием GPS | 95 |
| 2.10.2. Разбивка трассы правоповоротных соединительных ответвлений | 96 |
| 2.10.3. Определение длин полос торможения и разгона | 97 |
| 2.10.4. Поперечные профили проезжей части ППО | 98 |
| 2.11. Проектирование дорожных ограждений на транспортной развязке «клеверный лист» | 98 |
| 2.11.1. Общие сведения о дорожных ограждениях | 98 |
| 2.11.2. Выбор мест установки и определение степени удержания дорожных ограждений вне населенных пунктов | 98 |
| 2.11.3. Правила установки деформируемых дорожных ограждений. | 102 |
| 2.11.4. Правила установки недеформируемых дорожных ограждений | 103 |
| 2.11.5. Элементы дорожных ограждений | 104 |
| 2.11.6. Проектирование металлического ограждения в зоне разветвления и слияния потоков | 105 |
| 2.11.6.1. Проектирование ограждений в зоне разветвления и слияния потоков на ЛПО, ППО без переходно-скоростных полос | 106 |
| 2.11.6.2. Проектирование ограждений в зоне разветвления и слияния потоков на ЛПО и ППО при наличии переходно-скоростных полос | 108 |
| 2.11.7. Последовательность проектирования ограждений | 109 |
| 2.11.7.1. Последовательность проектирования ограждений на дороге, проходящей в верхнем уровне | 109 |
| 2.11.7.2. Последовательность проектирования ограждений на ЛПО и ППО | 110 |
| 2.11.8. Пример №1 проектирования ограждений на транспортной развязке «клеверный лист» | 111 |
| 2.11.9. Пример №2 проектирования ограждения на транспортной развязке «Полный клеверный лист» | 115 |
| 3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНОЙ РАЗВЯЗКИ «НАКОПИТЕЛЬНЫЙ РОМБ». | 116 |
| 3.1. Элементы транспортной развязки «накопительный ромб» | 116 |
| 3.2. Проектирование плана трассы транспортной развязки «накопительный ромб» | 118 |
| 3.2.1. Проектирование плана трассы левоповоротных соединительных ответвлений ЛПО1, ЛПО3 | 118 |
| 3.2.1.1. Обоснование углов поворота трассы ЛПО | 118 |
| 3.2.1.2. Определение элементов закруглений на левоповоротных соединительных ответвлениях | 119 |
| 3.2.1.3. Определение длины прямых участков левоповоротных соединительных ответвлений | 120 |
| 3.2.1.4. Определение пикетного положения основных точек трассы ЛПО1, ЛПО3 | 124 |
| 3.2.1.5. Определение пикетного положения основных точек ЛПО2 (ЛПО4) | 126 |
| 3.3. Проектирование продольного профиля трассы левоповоротных соединительных ответвлений ЛПО. | 128 |
| 3.3.1. Определение параметров контрольных точек ЛПО в зоне второстепенной дороги | 128 |
| 3.3.2. Определение контрольных точек на ЛПО в зоне главной дороги | 129 |
| 3.3.2.1. Определение величин l_0 и x_n на ЛПО1 и ЛПО3 | 130 |

| | |
|---|------------|
| 3.3.2.2. Определение величин ℓ_0 и x_n на ЛПО2, ЛПО4..... | 131 |
| 3.3.2.3. Определение параметров контрольных точек на ЛПО в зоне главной дороги | 132 |
| 3.3.3. Расчет элементов продольного профиля трассы левоповоротных соединительных ответвлений..... | 133 |
| 3.4. Проектирование правоповоротных соединительных ответвлений ППО | 137 |
| 3.4.1. Проектирование плана трассы правоповоротного соединительного ответвления ППО1..... | 137 |
| 3.4.1.1. Проектирование закругления на ВУП1 | 139 |
| 3.4.2. Проектирование продольного профиля правоповоротного соединительного ответвления ППО1 | 141 |
| 3.4.3. Проектирование правоповоротного соединительного ответвления ППО2. | 144 |
| Приложение..... | 147 |
| Литература..... | 149 |

ВВЕДЕНИЕ

Автомобильная дорога – комплекс инженерных сооружений, предназначенных для удобного и безопасного движения автомобильного транспорта с установленными скоростями и нагрузками.

Пересечения автомобильных дорог между собой называют узлами. Узлы автомобильных дорог могут проектироваться в одном или разных уровнях. Узлы автомобильных дорог в разных уровнях называют транспортными развязками, а в одном уровне – пересечениями (примыканиями) автомобильных дорог.

Различают простые, канализованные и кольцевые пересечения и примыкания.

Основными требованиями к узлам автомобильных дорог являются требования обеспечения безопасного и удобного движения, с учетом затрат на строительство узла, транспортно-эксплуатационных затрат.

Безопасность движения обеспечивается *своевременной видимостью, хорошей обзорностью, понятностью узла* автомобильной дороги.

Удобство проезда достигается непрерывностью движения, минимумов времени на проезд узла.

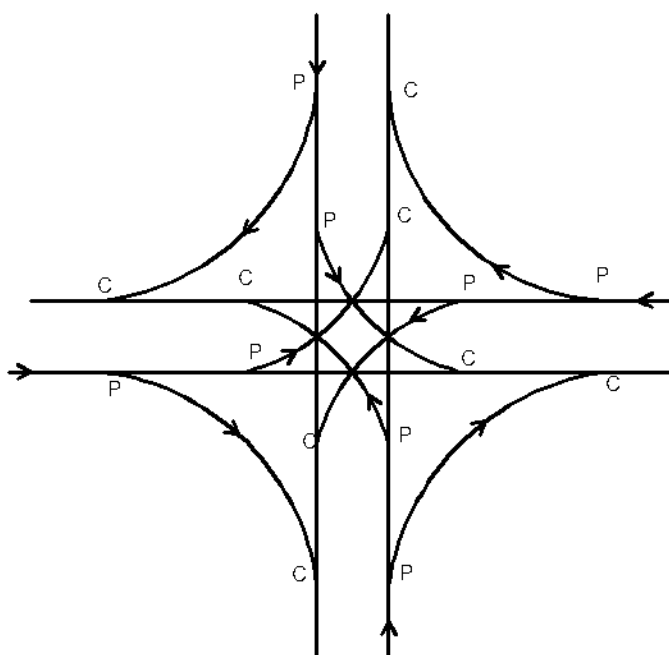


Рис. 1. Точки разветвления (P), слияния (C) и пересечения (П) траекторий движения автомобилей на пересечении двухполосных дорог.

На пересечении двухполосных дорог возможные траектории движения автомобилей образуют (рис. 1) восемь точек P разветвления потоков, восемь точек C слияния и шестнадцать точек П пересечения потоков.

Точки разветвления, слияния и пересечения потоков называют опасными, так как они являются местами дорожно-транспортных происшествий (ДТП). Наибольшее число ДТП в точках пересечения потоков, наименьшее – в точках разветвления.

Степень опасности пересечения зависит от интенсивности движения потоков транспорта, которые подходят к опасным точкам. Поэтому на дорогах с высокой интенсивностью движения проектируют *полные транспортные развязки*, на которых полностью устраняют точки пересечения потоков как наиболее опасные. В случае сохранения точек пересечения потоков на второстепенной дороге развязка называется *неполной*.

1. ТРАНСПОРТНЫЕ РАЗВЯЗКИ

Транспортная развязка – это инженерное сооружение, устраиваемое на пересечениях и примыканиях автомобильных дорог, включающее один или несколько путепроводов и систему соединительных ответвлений, обеспечивающих движение всех (полная транспортная развязка) или только основных (неполная транспортная развязка) пересекающихся транспортных потоков в разных уровнях.

1.1. Элементы транспортных развязок

Транспортная развязка (ТР) состоит из ряда элементов, выполняющих определенные функции. Выделяют следующие элементы транспортной развязки (рис.1.1):

- проезжие части пересекающихся дорог в границах ТР;
- соединительные ответвления (съезды развязок) для обеспечения соединения проезжих частей пересекающихся дорог и обеспечения возможности осуществления въезда на проезжие части и выезда с них;
- примыкание к проезжим частям дорог с устройством полос разгона;
- отмыкания от главных проезжих частей дорог с устройством полос торможения перед соединительными ответвлениями;
- сквозные распределительные проезды для отделения транзитного потока автомобилей от потока автомобилей, въезжающих на соединительные ответвления и выезжающих с них;
- остановочные полосы;
- искусственные сооружения (путепровод, тоннель),
- технические средства организации дорожного движения (дорожные знаки, разметка, ограждения и др.);

Границей транспортной развязки является сечение перпендикулярное главной проезжей части и проходящее через наиболее удаленный элемент ТР. Этим элементом чаще всего является начало или конец отгона уширения (рис. 1.1, сечения а–а и в–в).

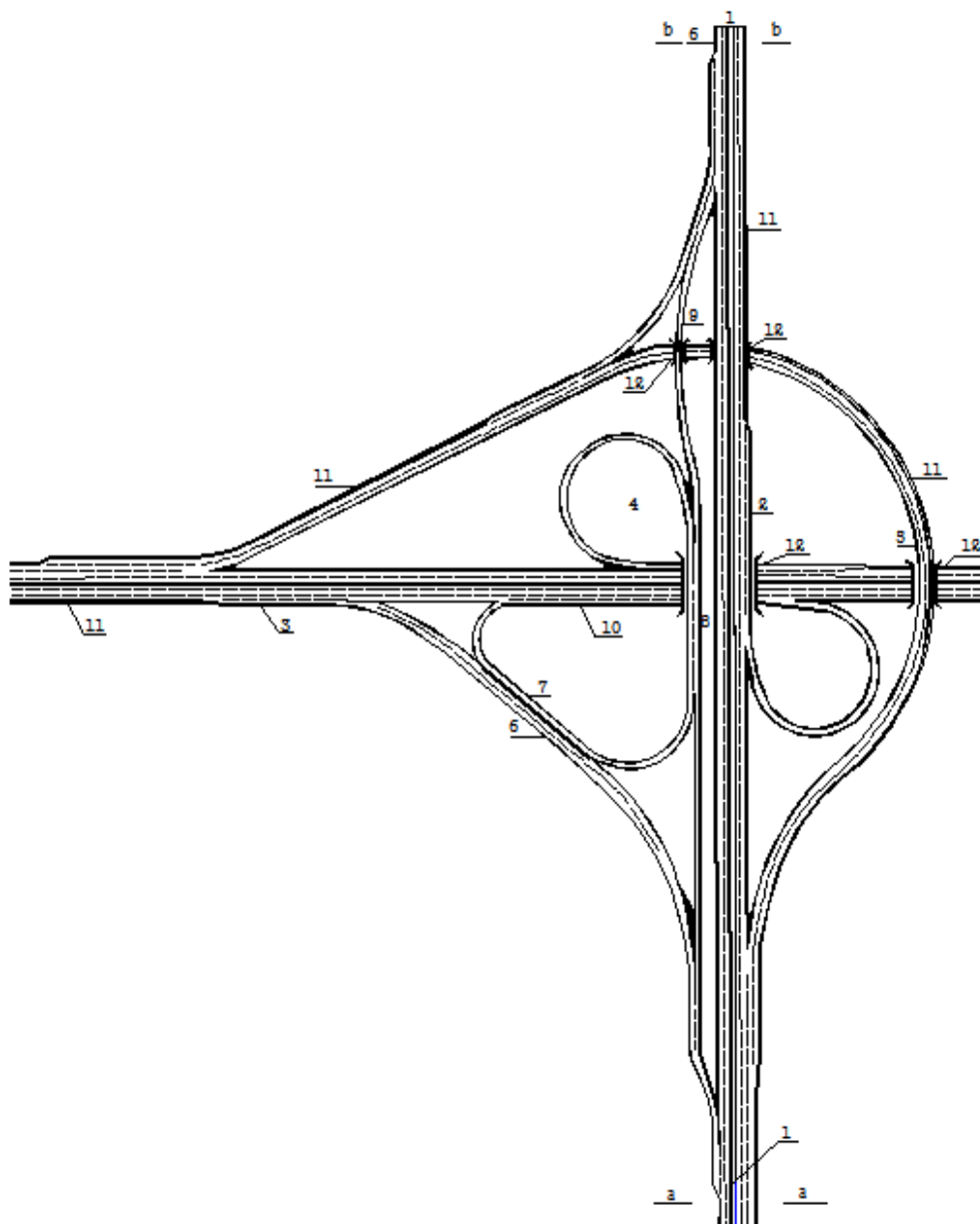


Рис. 1.1. Элементы транспортной развязки:

1 – главная проезжая часть; 2 – участок примыкания (полоса разгона); 3 – участок отмыкания (полоса торможения); 4 – петлевое левоповоротное соединительное ответвление; 5 – огибающее полупрямое соединительное ответвление; 6 – правоповоротное соединительное ответвление; 7 – левоповоротное соединительное ответвление, запроектированное с учетом положения правоповоротного; 8 – зона переплетения потоков; 9 – сквозной распределительный проезд; 10 – дополнительная полоса в зоне переплетения потоков; 11 – остановочная полоса; 12 – путепровод.

Соединительные ответвления (съезды развязок) делятся:

- по характеру движения с *односторонним* движением и *двухсторонним* (на соседней полосе встречное движение);
- по направлению движения на *левоповоротные (ЛПО)*, *правоповоротные (ППО)* и *совмещенные (СО)*;
- по конфигурации соединительного ответвления относительно проезжей части на *прямые*, *полупрямые* и *петлевые*.

Схемы соединительных ответвлений приведены на рис. 1.2. – 1.5.

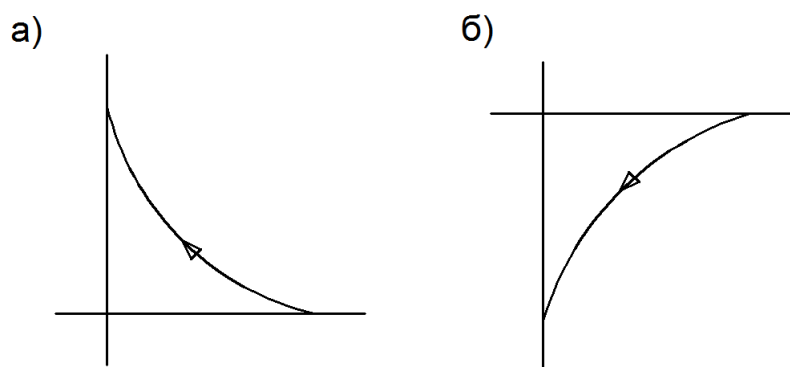


Рис. 1.2. Схемы прямых односторонних правоповоротных (а) и левоповоротных (б) соединительных ответвлений.

По ТКП 509–2014 расчетная скорость на *прямых* правоповоротных соединительных ответвлениях V_{pc} зависит от расчетной скорости на основной дороге V_p , с которой происходит отмыкание, и принимается по таблице 1.1.

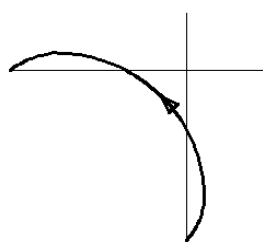
Таблица 1.1.

Расчетные скорости на дороге и на прямом соединительном ответвлении.

| Расчетная скорость на дороге, с которой происходит отмыкание, км/час. | Расчетная скорость на прямом правоповоротном соединительном ответвлении, км/час. |
|---|--|
| 140 | 80 |
| 120 | 70 |
| 100 | 60 |
| 80 | 40 |

Расчетная скорость на прямом левоповоротном соединительном ответвлении не менее 60 км/ч.

тип 1.



тип 2.

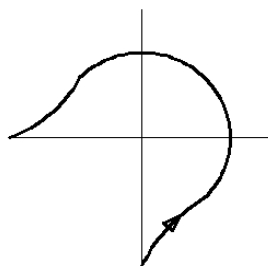


Рис. 1.3. Полупрямые односторонние левоповоротные соединительные ответвления: направленные (тип 1) и огибающие (тип 2).

Расчетная скорость на полупрямых левоповоротных соединительных ответвлениях принимается по таблице 1.2.

Таблица 1.2.

Расчетная скорость на дороге и на полупрямом соединительном ответвлении.

| Расчетная скорость на дороге, с которой происходит отмыкание соединительного ответвления, км/час. | Расчетная скорость на полупрямом соединительном ответвлении, км/час. | |
|---|--|-------|
| | Тип 1 | Тип 2 |
| 140 | 70 | 80 |
| 120 | 70 | 70 |
| 100 | 50 | 60 |

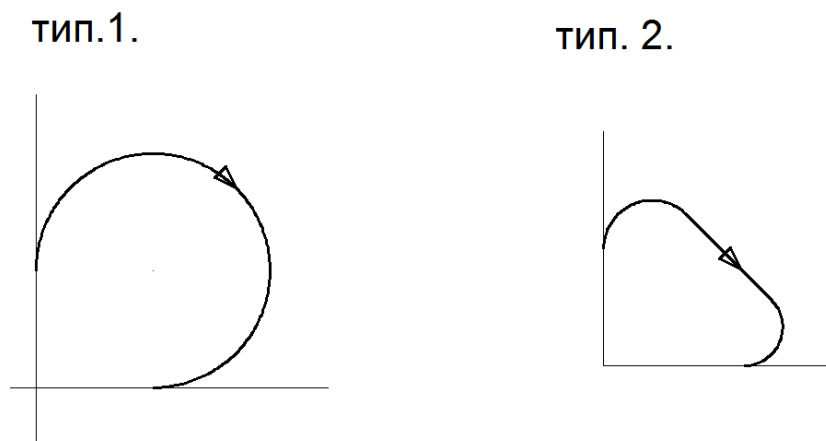


Рис. 1.4. Петлевые односторонние левоповоротные соединительные ответвления.

План трассы, петлевых односторонних соединительных ответвлений по типу 1 (рис. 1.4), состоит из круговой кривой, сопрягаемой с прямыми с помощью переходных кривых (классический вариант). План трассы петлевых соединительных ответвлений по типу 2 состоит из двух закруглений малого радиуса. Эти закругления стыкуются между собой на участке прямой. Её длина может быть равна нулю.

Расчетная скорость движения на петлевых соединительных ответвлениях по типу 1 равна 40 км/час, на соединительных ответвлениях по типу 2 – расчетная скорость 40 км/час на отмыкании от дороги и 30 км/час на примыкании к дороге.

Совмещенные соединительные ответвления (рис.1.5) предназначены для транспортных потоков, поворачивающих налево и направо. При этом движение может быть односторонним и двухсторонним.

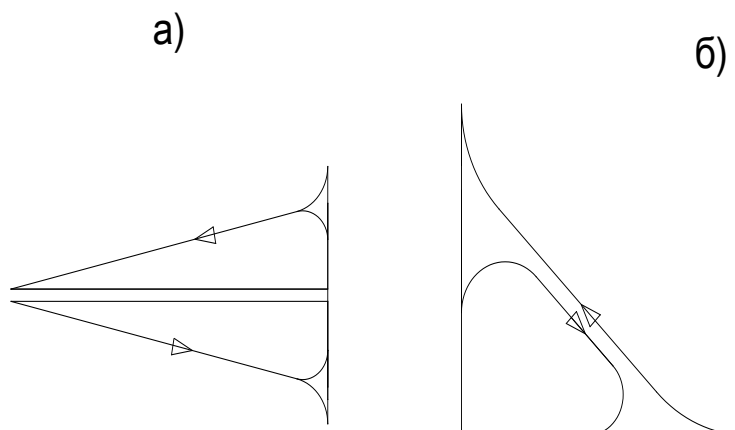


Рис. 1.5. Совмещенные соединительные ответвления: а) односторонние; б) двухсторонние.

1.2. Классификация и область применения транспортных развязок

Различают полные и неполные транспортные развязки.

Полная транспортная развязка – пересечение (примыкание) дорог в разных уровнях, на котором отсутствуют опасные точки пересечения транспортных потоков и сохраняются точки разделения и слияния этих потоков.

Неполная транспортная развязка – пересечение дорог в разных уровнях, на котором имеются точки пересечения транспортных потоков на второстепенной дороге или отсутствует возможность поворота по одному из направлений.

Полные транспортные развязки могут быть *простыми* и *улучшенными*.

Условия применения транспортных развязок названных типов приведены в таблице 1.3.

Условия применения типов транспортных развязок

| Категории дорог | Категория пересечений дороги | | | |
|--------------------|------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------|
| | I | II | III | IV-V |
| | Тип транспортной развязки | | | |
| I | полные, улучшенные и простые | полные, простые | полные, простые и неполные | неполные |
| II | – | полные . простые и неполные | неполные | – |
| III | – | | неполные | – |

Примечания к таблице 1.3:

1. На *дорогах I-в* категории пересечения с дорогами IV категории с расчетной интенсивностью на ней менее 1000 ед./сут. и стадийном строительстве могут устраиваться *в одном уровне*;

2. Пересечения дорог II и III категорий предусматривают в разных уровнях при суммарной интенсивности движения более 12000 ед./сут.

Полные транспортные развязки могут быть *двухуровневыми* и *многоуровневыми*.

По числу примыкающих к узлу направлений дорог транспортные развязки делятся на:

- транспортная развязка для трех направлений;
- транспортная развязка для четырех направлений;
- транспортная развязка для пяти направлений.

Схемы транспортных развязок для пяти направлений составляются индивидуально.

Схемы транспортных развязок для трех и четырех направлений типизированы многолетней практикой.

1.3. Основные схемы полных простых транспортных развязок для четырех направлений

В практике проектирования полных двухуровневых транспортных развязок наибольшее распространение получили транспортные развязки по типу «клеверный лист». Проектирование транспортной развязки «клеверный лист» детально рассмотрено в разделе 2.

Схема плана трассы классической представлена на рисунке 1.6.

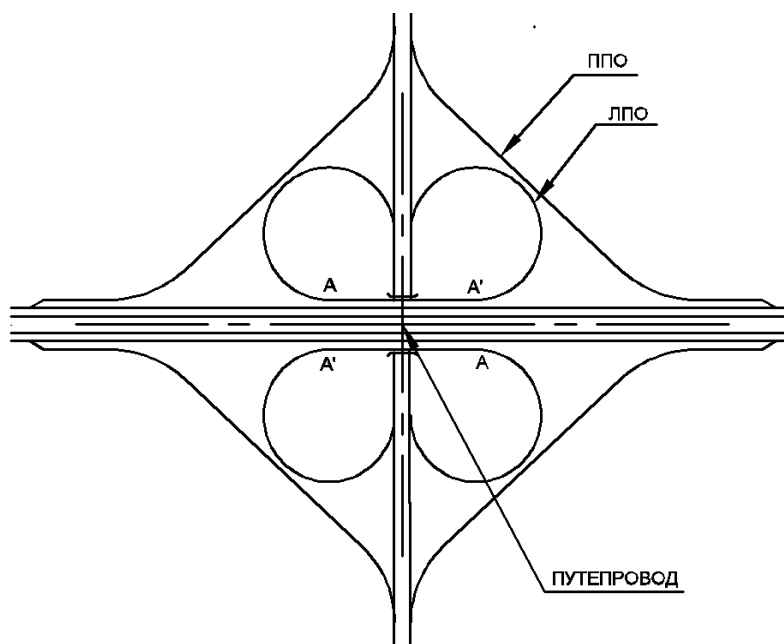


Рис. 1.6.Схема плана трассы классической транспортной развязки «клеверный лист»:

Для поворота налево предусмотрены четыре петлеобразные левоповоротные соединительные ответвления. (В дальнейшем будем обозначать сокращенно ЛПО). Они образуют очертания лепестка клевера.

Для поворота направо предусмотрены четыре правоповоротные соединительные ответвления. Будем обозначать их ППО.

Слабым местом транспортной развязки «клеверный лист» являются участки переплетения потоков транспорта, выезжающего из ЛПО в точке А' на основную полосу и потоков транспорта, въезжающего на ЛПО в точке А (рисунок. 1.6) с основной полосы прямого направления.

Пропускная способность полосы переплетения определяет пропускную способность всей транспортной развязки.

Достоинством классической транспортной развязки «клеверный лист» являются относительно невысокая стоимость, так как требуется строительство одного путепровода, хорошие условия движения транспорта на правых поворотах.

Недостатком транспортной развязки «клеверный лист» являются перепробеги и малая скорость движения на левых поворотах вследствие малого радиуса круговой кривой ЛПО, наличие полосы переплетения транспортных потоков и малая их пропускная способность, относительно большая площадь занимаемых земель.

На транспортной развязке «клеверный лист» возможен поворот и разворот транспортных средств службы эксплуатации и зимнего содержания автомобильных дорог.

В стесненных условиях с целью уменьшения занимаемой площади земель могут применяться схемы транспортных развязок «клеверный лист», представленные на рисунке 1.7.

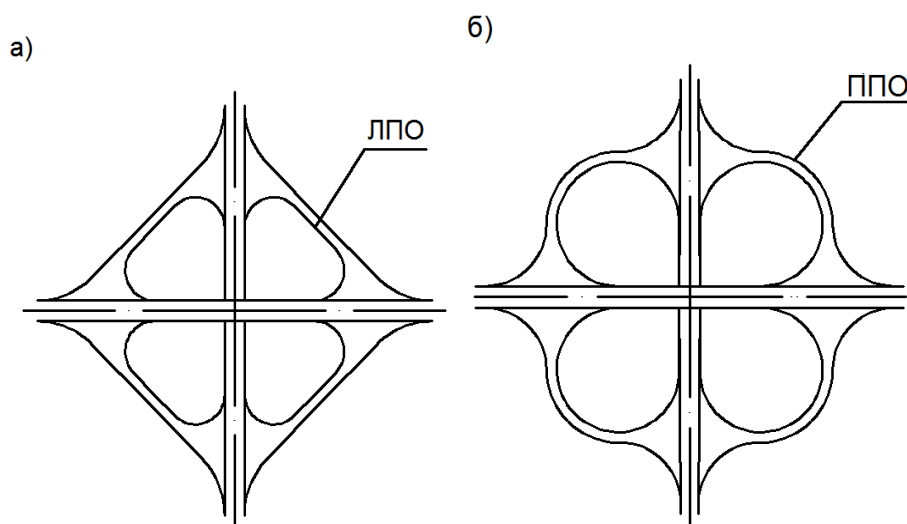


Рис. 1.7. Схемы плана трассы транспортных развязок «клеверный лист» с измененными: а) ЛПО и б) ППО.

В этих схемах ЛПО сжимается вдоль биссектрисы угла пересечения сопрягаемых дорог, а ППО огибает часть ЛПО. Это усложняет режим движения автомобиля, и поперечный водоотвод на проезжей части.

Кроме транспортной развязки «клеверный лист», к двухуровневым транспортным развязкам относятся распределительное кольцо с двумя путепроводами (рис.1.8.), с пятью путепроводами (рис. 1.9, 1.10) и «ветряная мельница» (рис.1.11).

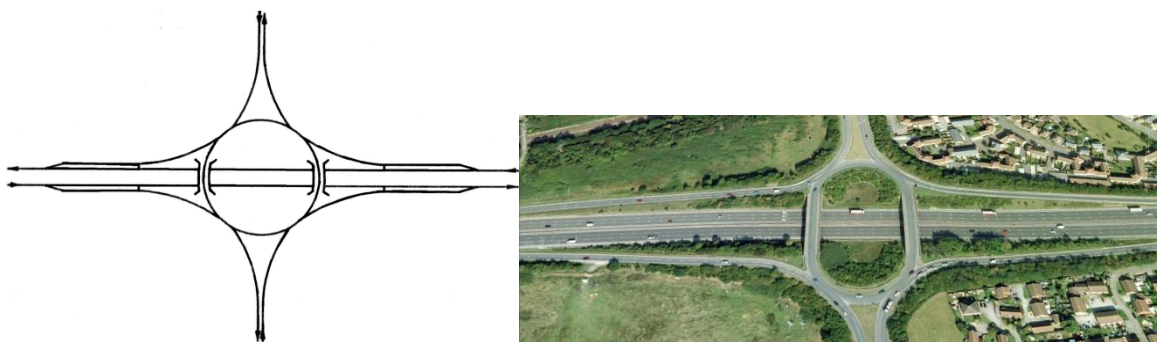


Рис.1.8. Схема трассы и план транспортной развязки «распределительное кольцо с двумя путепроводами»

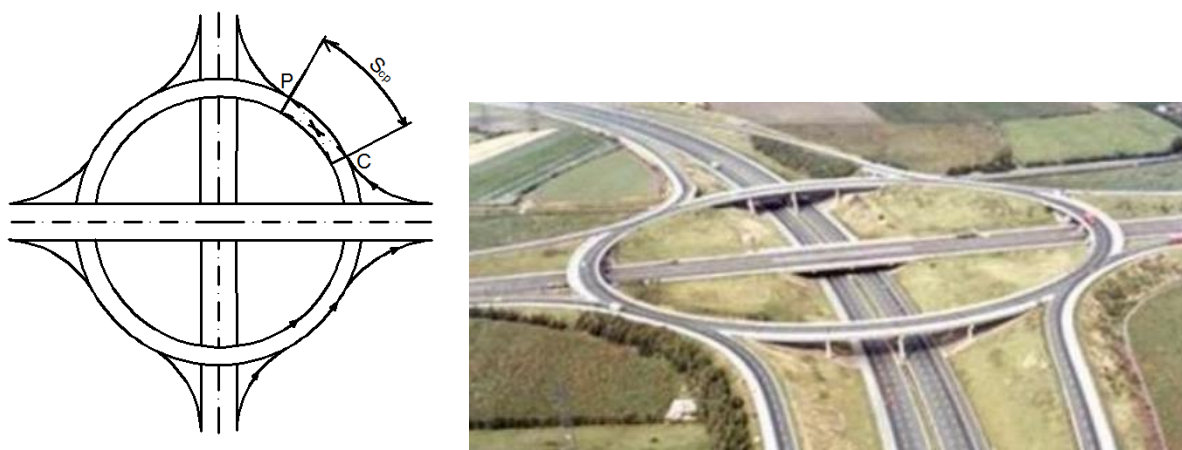


Рис. 1.9. Схема транспортной развязки «распределительное кольцо с пятью путепроводами»

В случае транспортной развязки «распределительное кольцо с пятью путепроводами» радиус кольца R_k назначается большим с тем, чтобы между точками слияния (С) и разветвления (Р) расстояние было не менее

$$S_{ср} \geq 4 \cdot V, \quad (1.1)$$

где $4с$ – время на смену ряда;

V – расчетная скорость движения транспорта на кольце радиуса R_k , м/с.

Если условие (1.1) не выполняется, то взамен точек (С) и (Р) на транспортной развязке имеют место точки пересечения (п) под острым углом (рис. 1.9) как наиболее опасные.

Достоинством транспортной развязки «распределительное кольцо с пятью путепроводами» по сравнению с транспортной развязкой «клеверный лист» является лучшее условие на левых поворотах. На правых поворотах безопасность движения уменьшается, так как на участке от точки (С) до точки (Р) на длине пути $S_{ср}$ имеет место переплетение лево- и правоповоротных потоков.

Большим недостатком транспортной развязкой «распределительное кольцо с пятью путепроводами» является его высокая стоимость в связи с необходимостью строить пять путепроводов



Рис. 1.10. Транспортная развязка «распределительное кольцо с пятью путепроводами».

Схема плана трассы транспортной развязки «ветряная мельница» приведена на рисунке (1.11).

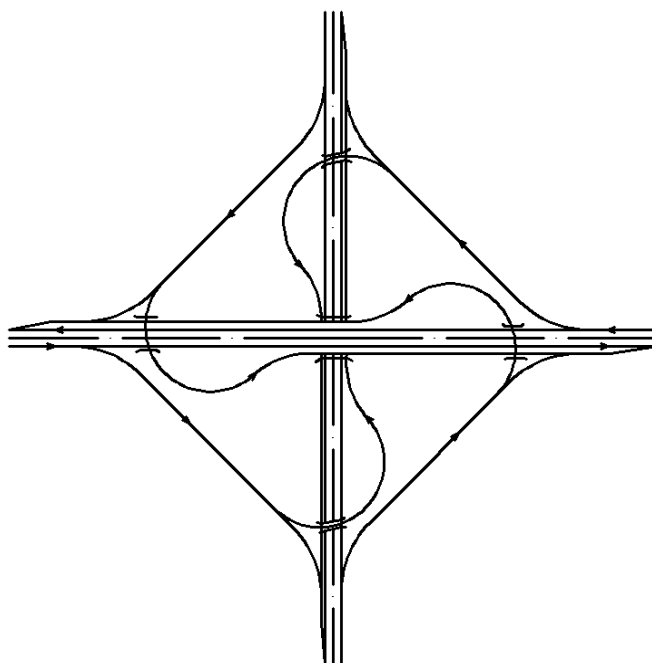


Рис. 1.11. Схема плана трассы транспортной развязки «ветряная мельница».

На транспортной развязке «ветряная мельница» поворот автомобиля налево начинается с правоповоротного соединительного ответвления. Далее поворачивающий налево автомобиль по криволинейной траектории проходит под (над) путепроводом и вливается в полосу разгона и в основную проезжую часть.

Достоинством транспортной развязки «ветряная мельница» является компактность и отсутствие участков переплетения транспортных потоков, ограничивающих пропускную способность.

Транспортная развязка «ветряная мельница» также имеет очень высокую стоимость (пять путепроводов), хотя заметных преимуществ по сравнению с транспортной развязкой «клеверный лист» при повороте налево транспортный поток не имеет.

1.4. Полные улучшенные двухуровневые транспортные развязки для четырех направлений

Наиболее распространенной транспортной развязкой на пересечениях дорог высоких категорий в разных уровнях является «клеверный лист» вследствие относительно малой стоимости. «Клеверный лист» – один из немногих типов развязок, который может быть подвержен реконструкции на занимаемой площади без радикального переустройства.

На развязке «клеверный лист» имеются 4 участка переплетения. На этих участках происходит перераспределение двух транспортных потоков: выезжающих с ЛПО1 и съезжающих на ЛПО4 (рисунок 1.12).

Применение схемы развязки «клеверный лист» ограничено пропускной способностью участков переплетения.

При расчетной скорости движения на ЛПО до 50 км/ч пропускная способность ЛПО 800–1200 авт./ч.

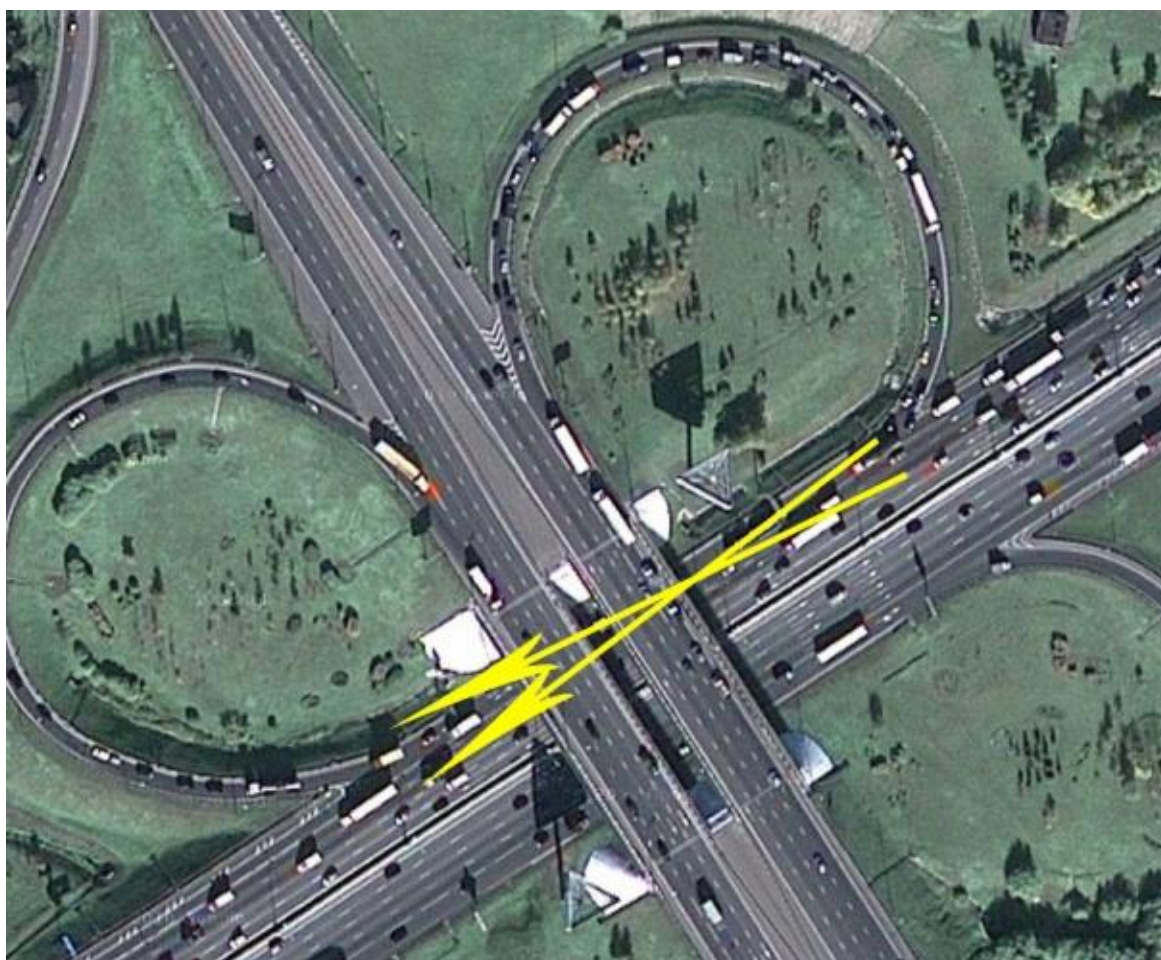


Рис. 1.12. Схема переплетения потоков и образование затора на ЛПО.

При наличии на пересечении дорог одного мощного левоповоротного транспортного потока для повышения пропускной способности развязки необходимо исключить участок переплетения потоков и улучшить параметры трассы ЛПО с целью увеличения скорости движения транспорта по этой ЛПО. Для этого взамен петлеобразного соединительного ответвления проектируют полупрямые соединительные ответвления.

Полупрямые левоповоротные соединительные ответвления могут проектироваться как элемент кольца (рис. 1.13), огибая часть транспортной развязки. Назовем их *улучшенными огибающими* левоповоротными соединениями (УО ЛПО).

Полупрямые левоповоротные соединительные ответвления могут проектироваться как самостоятельный элемент вне основной проезжей части, направленный по кратчайшему расстоянию к сопрягаемой проезжей части (рис. 1.14). Назовем их улучшенными *направленными* левоповоротными соединительными ответвлениями.



Рис. 1.13. Улучшенная транспортная развязка «клеверный лист» с улучшенным полупрямым огибающим левоповоротным соединительным ответвлением.

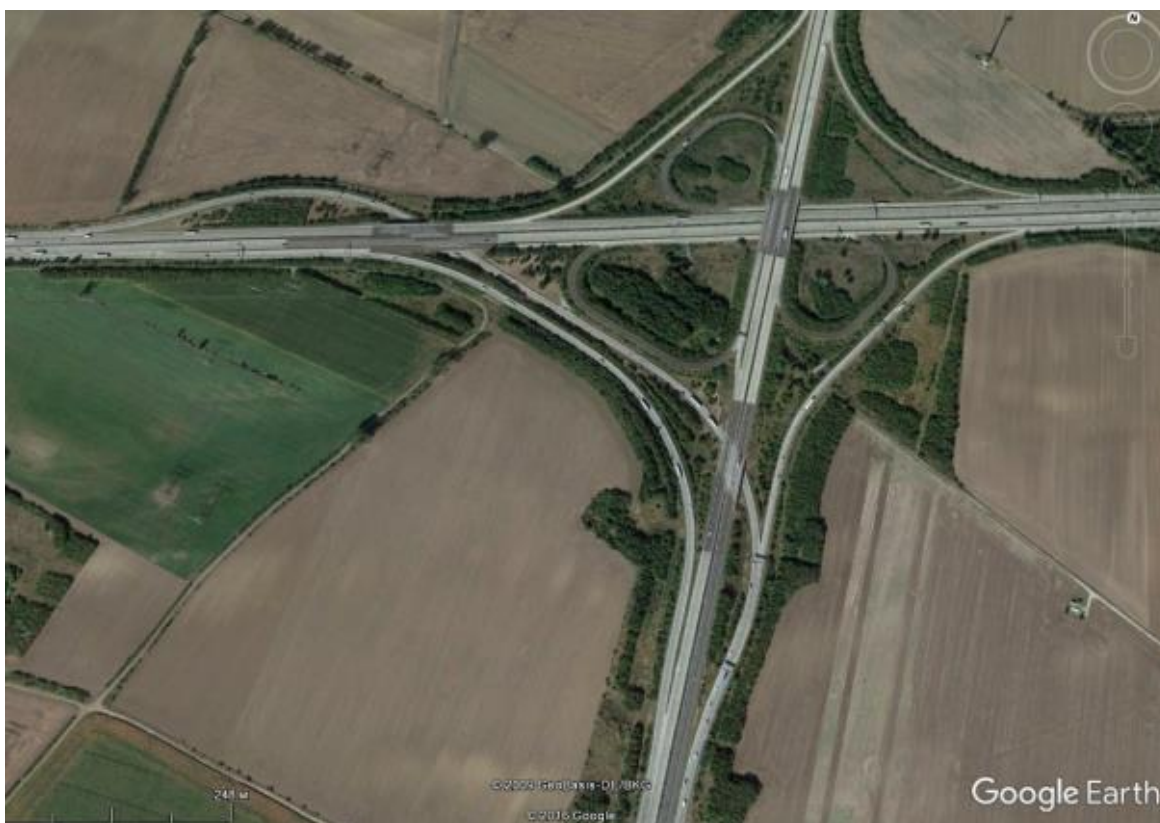


Рис. 1.14. Улучшенная транспортная развязка «клеверный лист» с полупрямым направленным левоповоротным соединительным ответвлением.

При наличии на пересечении дорог двух левоповоротных транспортных потоков с большой интенсивностью движения заменяют два петлеобразных левоповоротных соединительных ответвления на улучшенные полупрямые огибающие (рис. 1.15) или направленные (рис. 1.16).



Рис. 1.15. Улучшенная транспортная развязка «клеверный лист» с двумя огибающими левоповоротными соединительными ответвлениями.

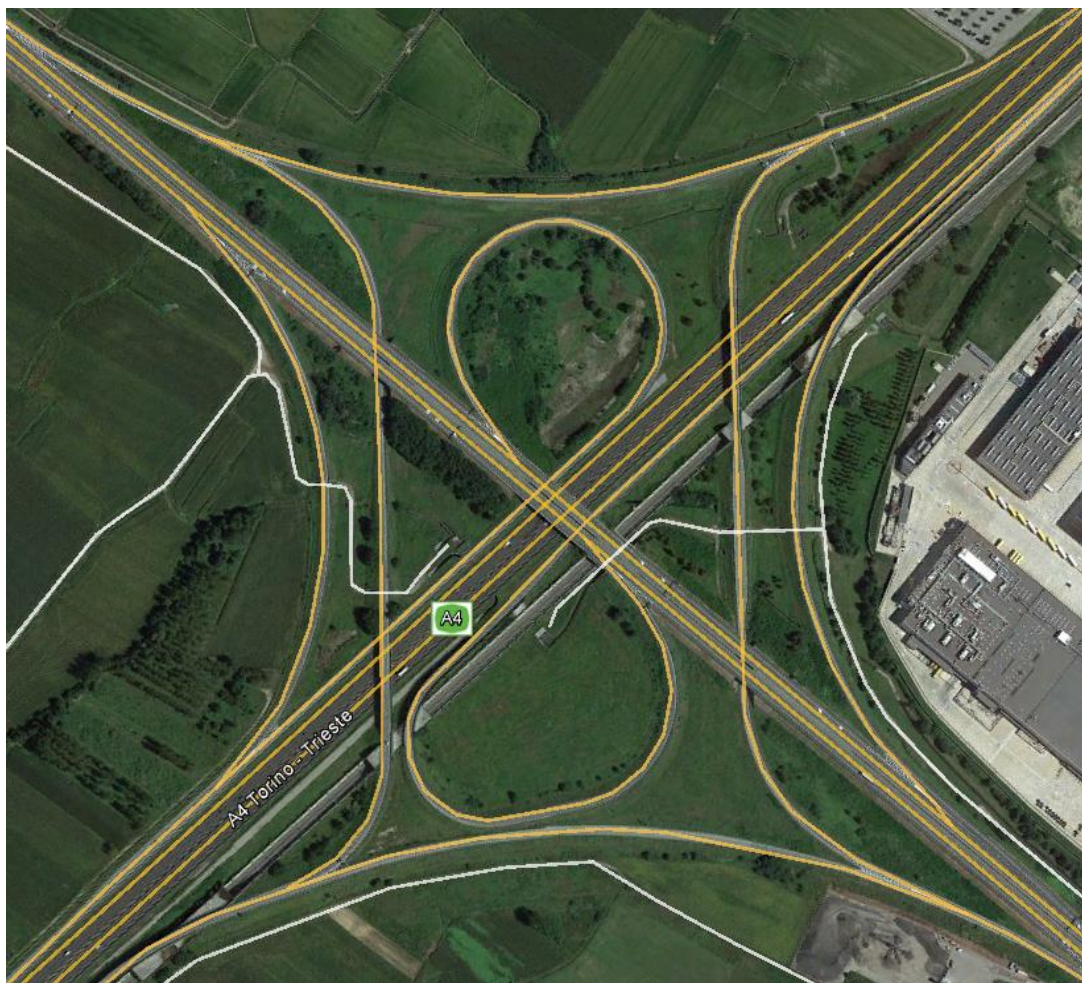


Рис. 1.16. Улучшенная транспортная развязка «клеверный лист» с двумя направленными левоповоротными соединительными ответвлениями

Применение полупрямых огибающих и направленных ЛПО исключает участки переплетения потоков и повышает пропускную способность транспортной развязки.

Огибающие соединительные ответвления более компактны по сравнению с направленными. Применение их оправдано при ограниченной площади земли, выделяемой под транспортную развязку. Существенным их недостатком являются перепробеги транспорта, движущегося налево по сравнению с направленными соединительными ответвлениями.

Для уменьшения площади занимаемых под транспортную развязку земель, перепробегов транспорта совмещают два улучшенные полупрямые соединительные ответвления в одном квадранте (рис. 1.17).



Рис. 1.17. Улучшенная транспортная развязка «клеверный лист» с заменой двух петлеобразных ЛПО на полупрямые огибающее и направленное .

Рассмотренные выше схемы улучшенных полных развязок на основе транспортной развязки «клеверный лист» не изменяли положения транспортных полос движения по направлениям дорог категории I (автомагистралей и скоростных дорог). Проезжие части пересекающихся дорог по встречным направлениям отделяют разделительной полосой постоянной ширины.

На основе развязки «клеверный лист» применяется схема «раздвинутый «клеверный лист» с раздельным трассированием каждого направления.

На транспортной развязке «раздвинутый клеверный лист» для поворота налево применяют прямые схемы (рис. 1.18).

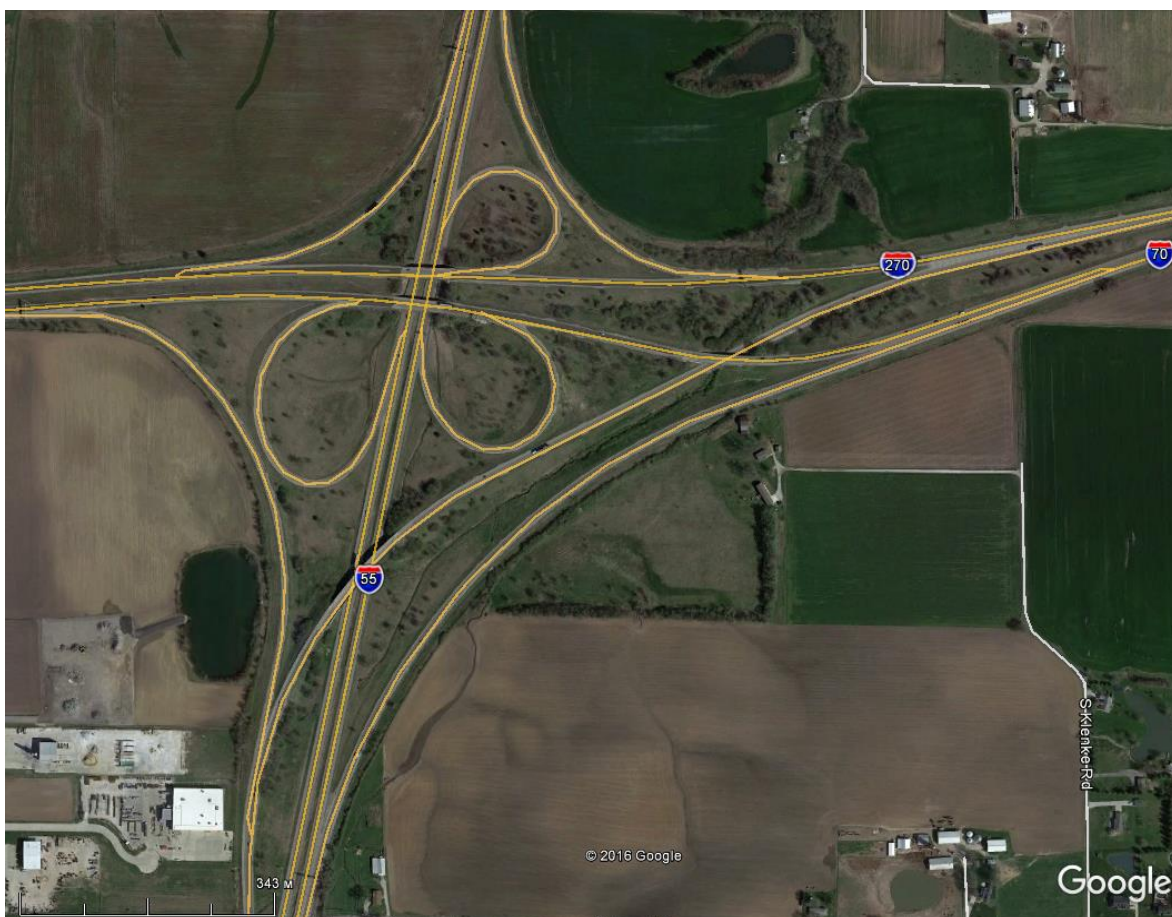


Рис. 1.18. Смещение встречной проезжей части дороги I категории.

На рисунке 1.18 трасса встречной проезжей части автомагистрали запроектирована отдельно так, что частичное смещение их позволило разместить косой путепровод над улучшенным направленным левоповоротным соединительным ответвлением. Направленное соединительное ответвление начинается по схеме прямого на отмыкании и заканчивается по схеме полупрямого соединения на примыкании к пересекаемой дороге.

Типичным примером раздвижки встречных проезжих частей двух дорог является схема, приведенная на рисунке 1.19.



Рис. 1.19. Транспортная развязка «раздвинутый клеверный лист» с улучшенными прямыми левоповоротными соединительными ответвлениями.

1.5. Схемы транспортных развязок для трех направлений

Транспортные развязки для трех направлений делятся на *полные простые* и *полные улучшенные*. Основным типом полных простых развязок для трех направлений является *транспортная развязка по схеме «труба»*.

Классическая схема плана трассы транспортной развязки «труба» приведена на рисунке 1.20. Планы классической транспортной развязки «труба» приведены на снимках (рис. 1.21, 1.22).

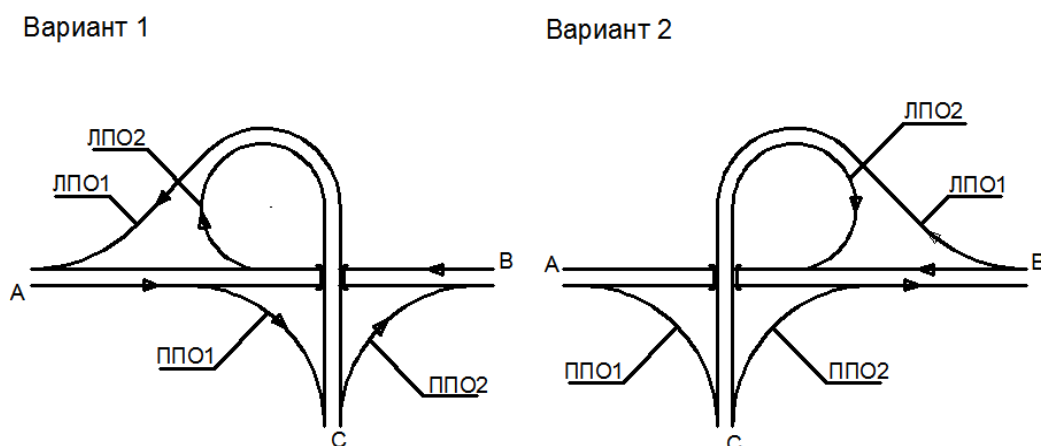


Рис. 1.20. Схема плана трассы классической транспортной развязки «труба».



Рис. 1.21. План классической транспортной развязки «левосторонняя труба».



Рис. 1.22. План классической транспортной развязки «правосторонняя труба».

План трассы транспортной развязки «труба» включает левоповоротные соединительные ответвления ЛПО1 и ЛПО2 и правоповоротные ППО1 и ППО2 (рис. 1.20).

Левоповоротные соединительные ответвления могут быть расположены относительно примыкающей дороги слева (вариант 1) или справа (вариант 2). В первом случае транспортную развязку назовем «левосторонняя труба», во втором случае «правосторонняя труба».

План трассы соединительного ответвления ЛПО1 обеспечивает лучшие условия движения транспорта по сравнению с петлеобразным планом трассы соединительного ответвления ЛПО2. Поэтому выбор варианта транспортной развязки по типу «труба» («левая труба», «правая труба») зависит от интенсивности движения транспорта по направлению соединительного ответвления ЛПО1 (рис. 1.20).

Обычно интенсивность движения транспортного потока, поворачивающего налево с примыкающей дороги, больше, чем интенсивность движения транспортного потока, поворачивающего налево с основной дороги. Поэтому в обычных условиях в качестве типового решения принимают транспортную развязку «левая труба».

В случае примыкания дорог I–III категорий перед путепроводом следует предусматривать участок с обратными кривыми (рис. 1.23), на котором начинается снижение скорости движения на ЛПО1 левой трубы.

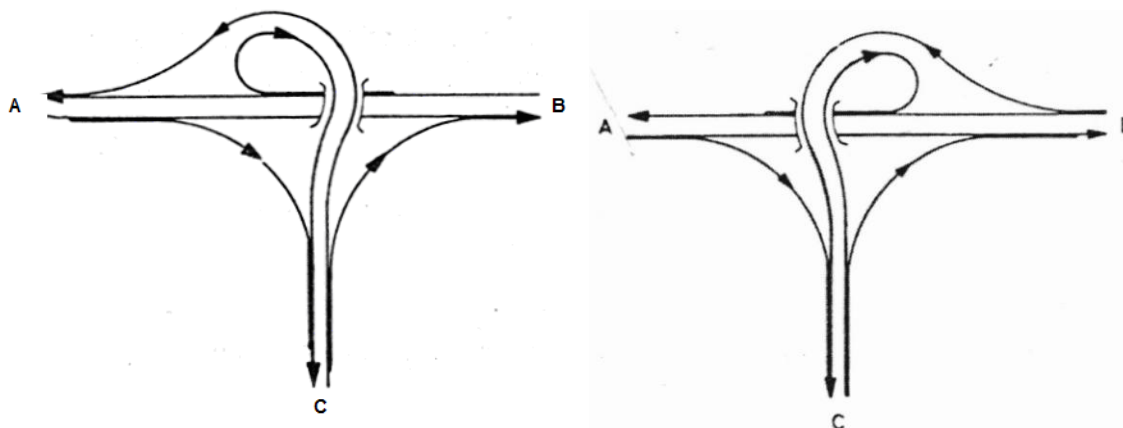


Рис. 1.23. Рекомендуемые по ТКП 509–2014 схемы транспортной развязки «труба».

Существенное улучшение условий движения на ЛПО1 возможно при использовании полупрямого огибающего соединительного ответвления (рис. 1.24).

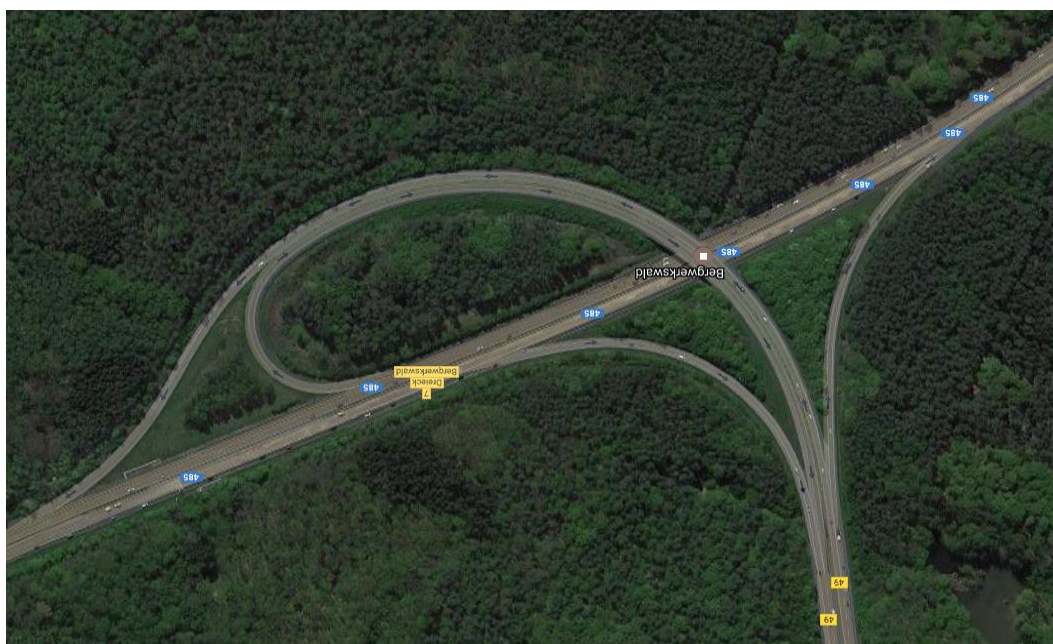


Рис. 1.24. План транспортной развязки «левая труба» с полупрямым огибающим ЛПО на примыкании дорог.

При стадийном строительстве транспортной развязки на первой стадии может проектироваться «листовидное примыкание» с последующим развитием в пересечение типа «клеверный лист». План трассы транспортной развязки «листовидное примыкание» показан на рисунке 1.25.



Рис. 1.27. План транспортной развязки «грушевидное примыкание».

Транспортная развязка «примыкание с одним путепроводом в трех уровнях» (рис. 1.28) включает два полупрямые направленные левоповоротные соединительные ответвления и два прямые правоповоротные соединительные ответвления.

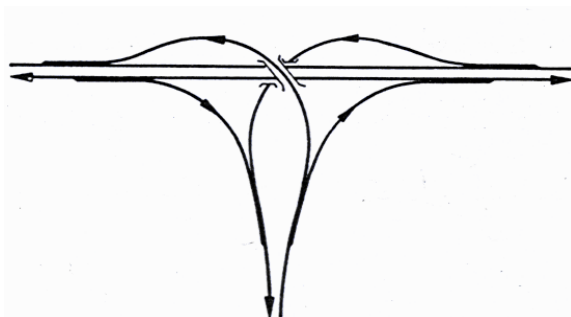


Рис. 1.28. План трассы транспортной развязки «примыкание с одним путепроводом в трех уровнях».

Транспортная развязка «примыкание с одним путепроводом в трех уровнях» целесообразно при больших и почти равных левоповоротных транспортных потоках. Строительные затраты и потребность в площади земель больше, чем у транспортной развязки «труба». Недостатком этой развязки является конструктивная сложность и высокая стоимость трехуровневого путепровода.

Для уменьшения стоимости строительства путепровода его располагают на пересечении трасс левоповоротных соединительных ответвлений и трассы одного направления главной дороги (рис. 1.29).

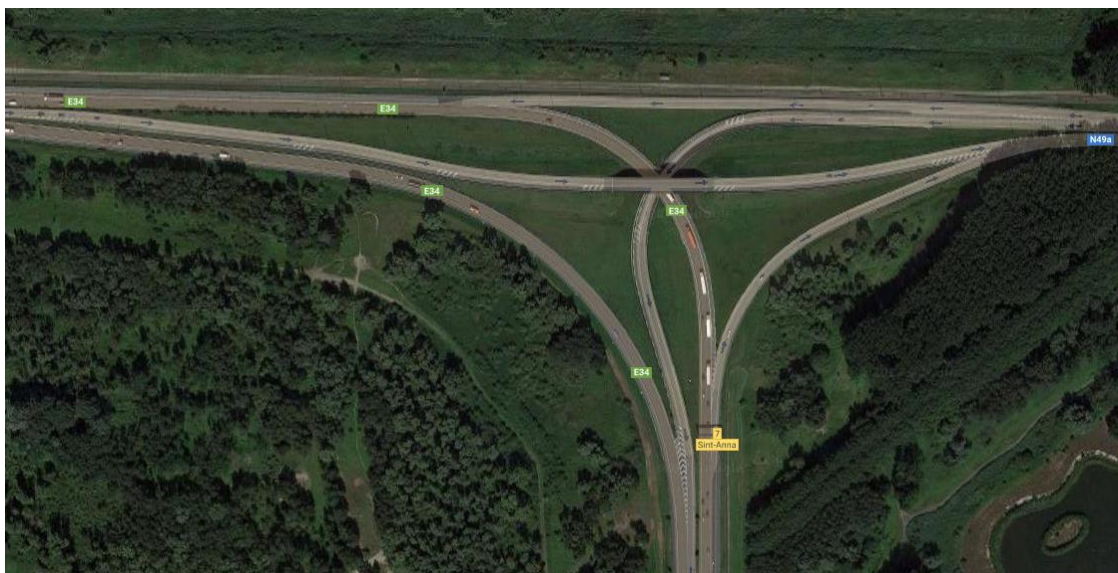


Рис. 1.29. План транспортной развязки «примыкание с одним путепроводом» на примыкании автомобильной дороги E – 24 к автомобильной дороге №7 SINNT–ANNA.

Транспортная развязка «треугольник с тремя путепроводами» является развитием транспортной развязки «примыкание с одним путепроводом». Левоповоротные соединительные ответвления отдаляются друг от друга. Трехуровневый путепровод трансформируется в три двухуровневых путепровода (рис. 1.30).

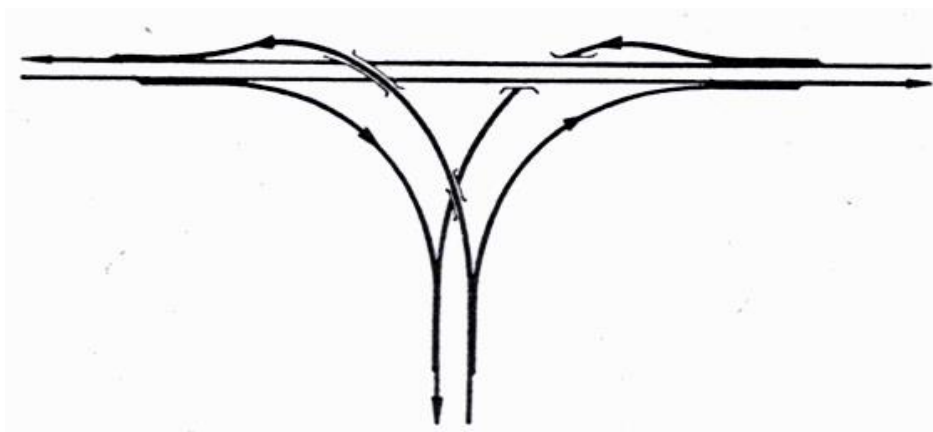


Рис. 1.30. План трассы транспортной развязки «треугольник с тремя путепроводами».

Транспортная развязка «треугольник с тремя путепроводами» имеет большую пропускную способность. Она занимает большую площадь.

1.6. Неполные транспортные развязки

Неполные транспортные развязки допускают пересечение транспортных потоков на второстепенных дорогах. К ним относятся «неполный клеверный лист» и «ромб».

1.6.1. «Неполный клеверный лист»

На транспортной развязке «неполный клеверный лист» отсутствует одно или несколько соединительных ответвлений (лево- или правоповоротных).

Дорожной практикой широко используются схемы транспортной развязки «неполный клеверный лист», в которых отсутствуют два левоповоротных и два правоповоротных соединительные ответвления.

Движение поворачивающих транспортных потоков, как правило, должно быть организовано по двум совмещенным двухсторонним соединительным ответвлениям CO1 и CO2 (рис. 1.31).

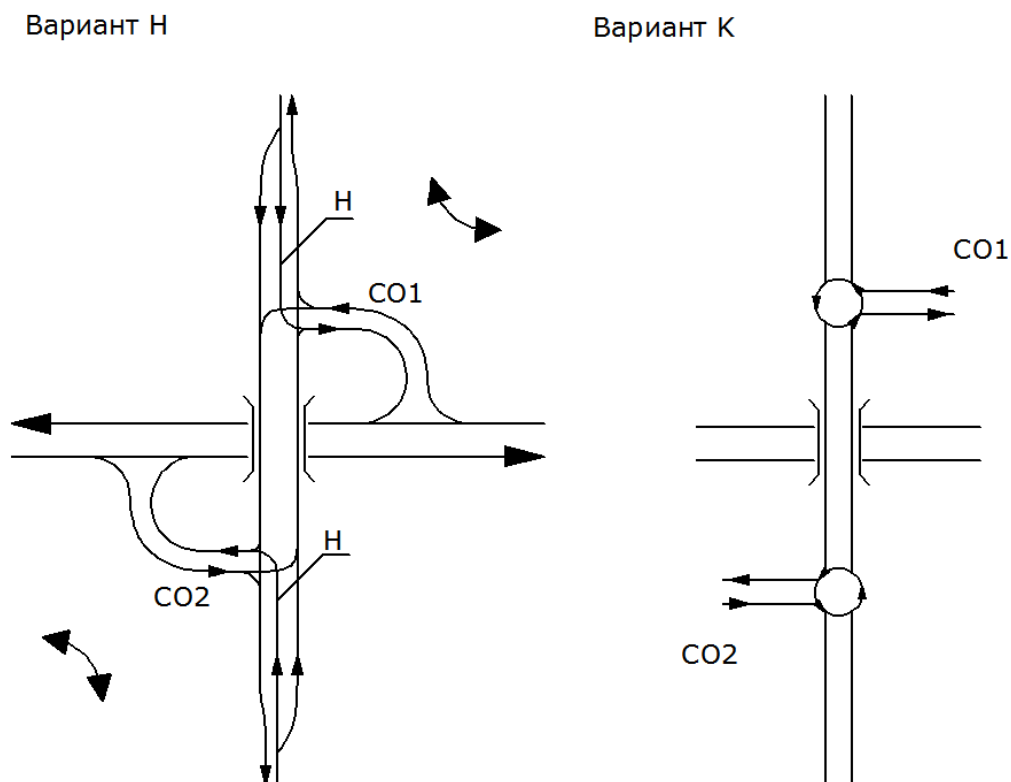


Рис. 1.31. Диагональный неполный клеверный лист со съездами за путепроводом.

Соединительное ответвление сопрягается с главной дорогой по схеме правоповоротного примыкания, с второстепенной дорогой по схеме канализированного или кольцевого примыкания.

Для системы транспортной развязки «неполный клеверный лист» имеются три принципиально возможные схемы расположения соединительных ответвлений:

- диагональные с расположением соединительных ответвлений в противоположных квадрантах (рис. 1.31);
- симметричная относительно главной дороги (рис. 1.32).

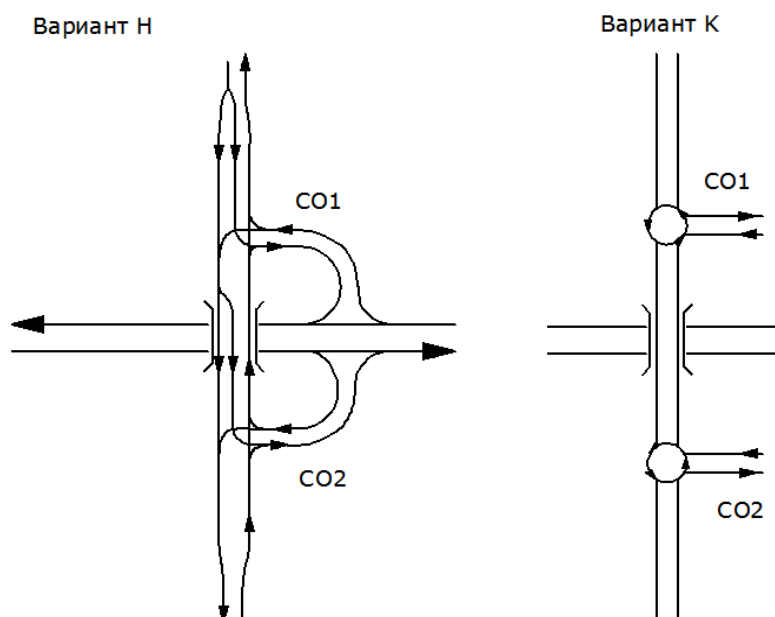


Рис. 1.32. Симметричный «неполный клеверный лист».

На рисунках 1.31 и 1.32 представлены примыкания соединительных ответвлений CO1 и CO2 к второстепенной дороге по схеме канализированного примыкания (вариант Н) и по схеме кольца (вариант К).

Кольцевые примыкания соединительных ответвлений CO1 и CO2 на второстепенной дороге можно применять при малой интенсивности движения на второстепенной дороге.

Для большей четкости в названии транспортные развязки разделим на две группы по схеме примыкания. В случае примыкания соединительного ответвления по схеме канализированного примыкания с накопительной полосой – накопительный диагональный или симметричный «неполный клеверный лист». В случае примыкания по схеме кольца – кольцевой диагональный или симметричный «неполный клеверный лист» (рис. 1.33; 1.34; 1.35).



Рис. 1.33. Кольцевой диагональный «неполный клеверный лист».

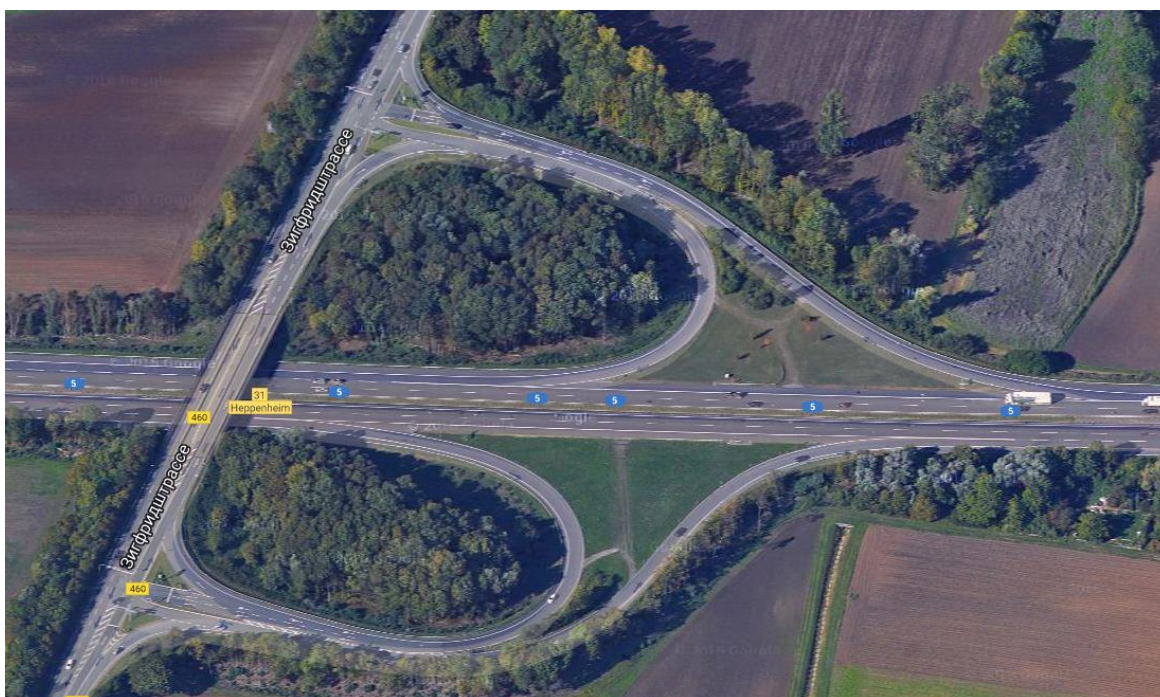


Рис. 1.34. Накопительный симметричный «неполный клеверный лист».

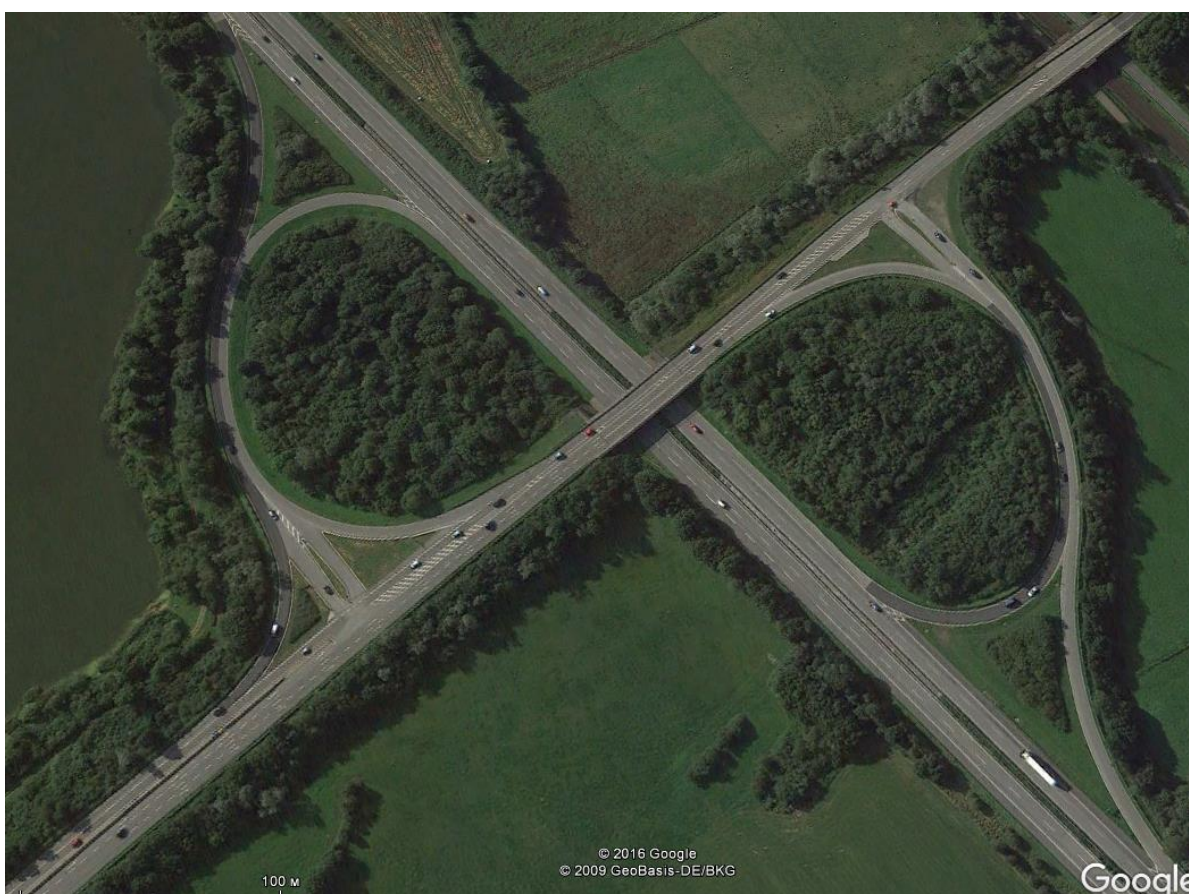


Рис. 1.35. Накопительный диагональный «неполный клеверный лист».

1.6.2. Неполная транспортная развязка типа «ромб»

Транспортные потоки, движущиеся по прямому направлению главной и второстепенной дорог, пересекаются в разных уровнях с помощью путепровода. При этом главная дорога может располагаться как в верхнем, так и в нижнем уровнях.

Поворачивающие транспортные потоки движутся по четырем совмещенным односторонним соединительным ответвлениям (съездам транспортной развязки). Эти соединительные ответвления на отмыкании и примыкании к второстепенной дороге образуют два узла. В этих узлах организация левоповоротного движения возможна по трем схемам:

- простое отмыкание от второстепенной дороги (рис. 1.36);
- отмыкание от второстепенной дороги с накопительной полосы по схеме канализированного примыкания (рис. 1.37);
- схема кольцевого пересечения (рис. 1.38).



Рис. 1.36. Неполная транспортная развязка «простой ромб».

В соответствии со схемами организации левоповоротного движения следует уточнить название транспортной развязки «ромб». Если левоповоротное движение осуществляется по схеме *простого* примыкания, то название транспортной развязки «*простой ромб*» (рис. 1.36). Если отмыкание левоповоротного движения от второстепенной дороги осуществляется с *накопительной полосы*, то название транспортной развязки «*накопительный ромб*» (рис. 1.37).



Рис. 1.37. Неполная транспортная развязка «накопительный ромб».

В случае организации поворотного движения по схеме кольцевого пересечения название неполной транспортной развязки «кольцевой ромб».



Рис. 1.38. Неполная транспортная развязка «кольцевой ромб».

Неполная транспортная развязка «простой ромб» применяется в случае, если второстепенная дорога категории IV и V. Транспортная развязка «накопительный ромб» назначается, если второстепенная дорога имеет категорию III или II.

3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНОЙ РАЗВЯЗКИ «КЛЕВЕРНЫЙ ЛИСТ»

3.1. Элементы транспортной развязки «клеверный лист»

Классическая транспортная развязка «клеверный лист» включает (рис. 2.1.1):

- дорожное полотно;
- левоповоротные (ЛПО) соединительные ответвления по типу I;
- правоповоротные (ППО) соединительные ответвления (съезды развязок);
- путепровод;
- полосы торможения S_m перед ЛПО, ППО;
- полосы разгона S_p после ЛПО, ППО;
- участки полосы переплетения потоков;
- технические средства организации дорожного движения (дорожные знаки, дорожная разметка, сигнальные устройства);
- ограждения.

В отдельных случаях на дорогах I категории может предусматриваться сквозной распределительный проезд (см. 2.1.2).

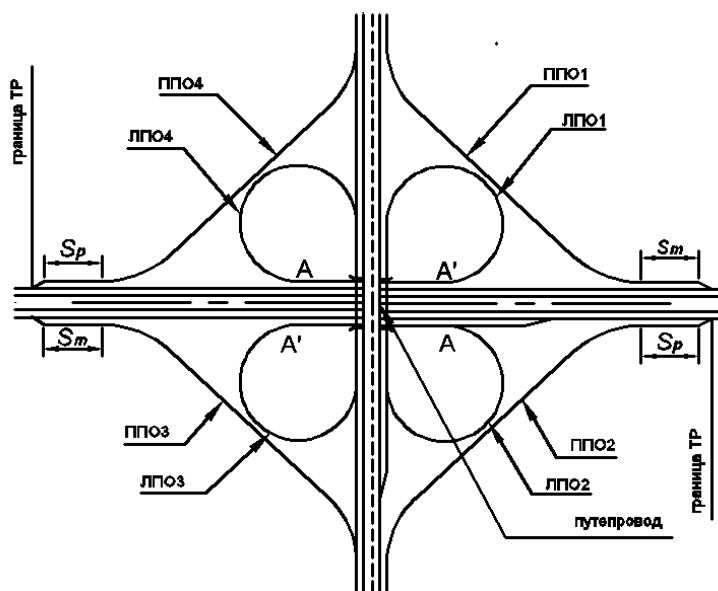


Рис. 2.1.1. Схема плана трассы транспортной развязки «клеверный лист» с ЛПО по типу 1.

Для обеспечения достаточной длины участков переплетения потоков левоповоротные соединительные ответвления проектируют по типу 2 (рис. 1.4.).

Схема транспортной развязки с ЛПО по типу 1 и по типу 2 показана на рисунке 2.1.2.

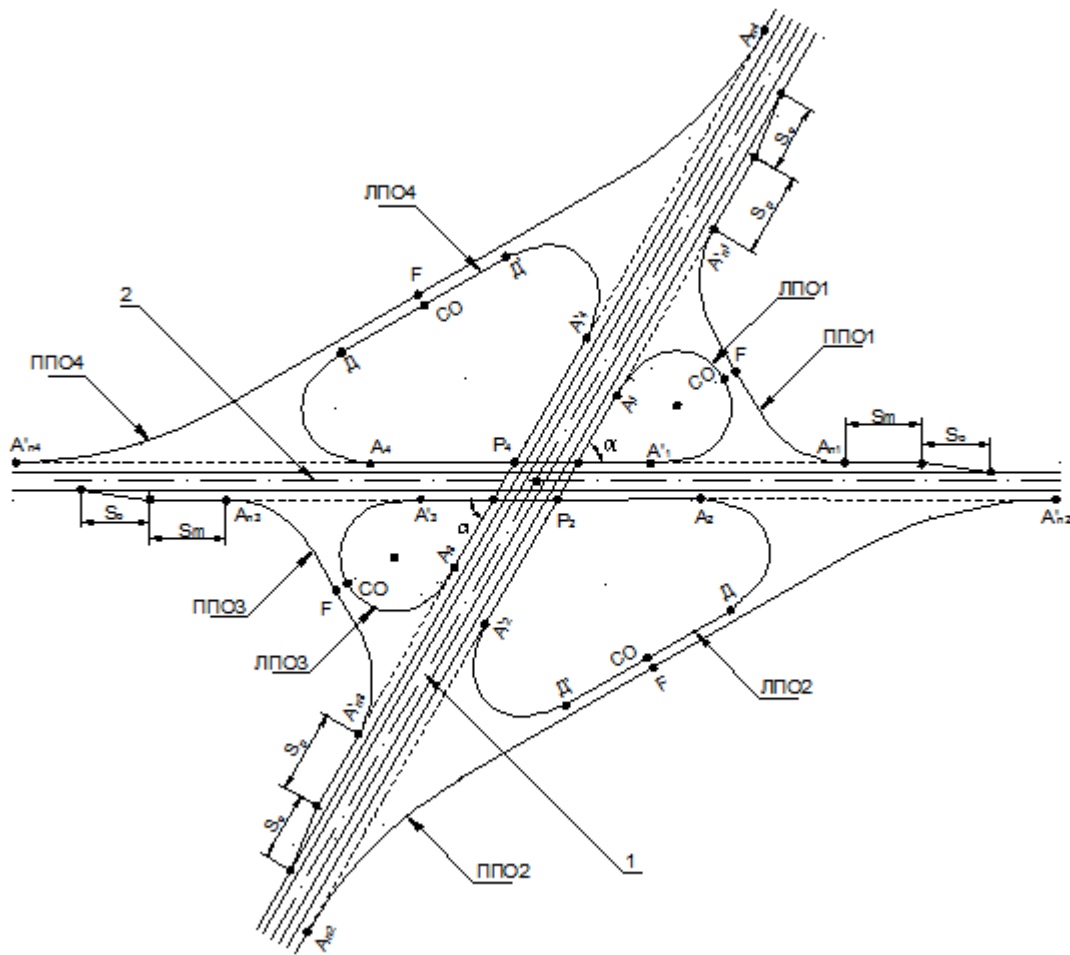


Рис.2.1.2. Схема плана трассы транспортной развязки «клеверный лист» с левоповоротными соединительными ответвлениями по типу 1 (ЛПО1, ЛПО3) и по типу 2 (ЛПО2, ЛПО4): 1,2 – оси пересекающихся дорог.

3.1.1. Дорожное полотно пересекающихся дорог и соединительных ответвлений.

Параметры дорожного полотна пересекающихся дорог вне транспортной развязки назначают в соответствии с категорией этих дорог. Ширина полосы движения принимается 3,50м для дорог III, II, I–в, I–б категорий и 3,75м для дороги I–а категории. Проезжая часть дорог III и II категории имеет две полосы движения, дорог I категории минимум две полосы движения в каждом направлении. Ширина обочин равна 2,50м для дорог III категории, 3,0м для дорог II, I–б, I–в категорий и 3,75м для дороги I–а категории. На обочинах предусмотрены укрепленные полосы шириной 0,50м на дорогах III, I–в и I–б категорий и 0,75м на дороге I–а, II категории.

На дорогах I категории на обочинах проектируют остановочные полосы. Их ширина вместе с укрепленной полосой равна 2,50м. Встречные потоки транспорта на дороге I категории отделяются разделительной полосой. Минимальная ширина разделительной полосы 2,70м при установке на ней барьерного ограждения.

Параметры дорожного полотна пересекающихся дорог на транспортной развязке на дорогах I, II и III категорий дополнительно включают полосы торможения и разгона (переходно-скоростные полосы). Ширина их равна 3,50м на дорогах I–б, I–в, II и III категории и 3,75м на дорогах I–а категории. Ширину обочин на участках полос торможения и разгона допускается уменьшать до 1,50м для дорог I–б, I–в и II категорий и до 1,0м на дорогах III категории.

Ширина разделительной полосы на дороге, проходящей в верхнем уровне, принимается равной 2,70м, как и на подходах к транспортной развязке. Если на разделительной полосе нижней дороги предусмотрено размещение опоры балочного путепровода, то ширина разделительной полосы под

путепроводом увеличивается до 3,70м. Это вызывает смещение проезжей части и обочин встречных направлений на 0,50м. Это смещение сопрягается отгоном длиной 40м (1:80).

На подходах к путепроводу на протяжении 10м до начала и 10м после конца путепровода ширина дорожного полотна должна превышать расстояние между перилами тротуара не менее чем на 0,50м с каждой стороны дороги.

Дорожное полотно соединительных ответвлений ЛПО и ППО включает проезжую часть и обочины (рис. 2.1.3.).

Проезжая часть *ЛПО однополосная* (тип 1). Ширина полосы движения 5,0м учитывает уширение проезжей части на кривых малого радиуса. По ТКП 509–2014 ширина обочин на ЛПО равна 1,75 м. На обочинах предусмотрены укрепительные полосы шириной 0,25м.

Проезжая часть *ППО* может быть *однополосной* (тип 1) или *двухполосной* (тип 2) с односторонним движением.

Однополосная проезжая часть ППО имеет ширину полосы 4,50м, обочин 1,75м, укрепленных полос 0,25м.

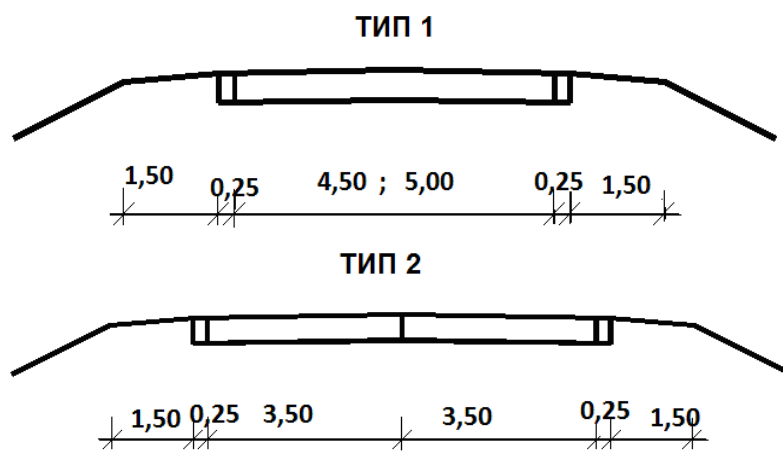


Рис. 2.1.3. Типы дорожного полотна соединительных ответвлений.

Двухполосная проезжая часть ППО по ТКП 509–2014 предусматривается в зависимости от длины ППО и интенсивности движения по графику (рис. 2.1.4).

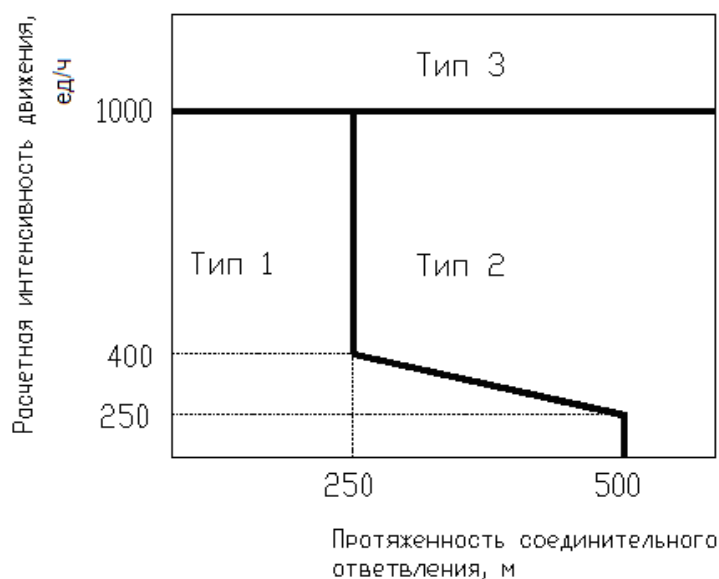


Рис. 2.1.4. Область применения поперечных профилей соединительных ответвлений по транспортной развязке «клеверный лист»

Длина ППО равна расстоянию между точками расхождения кромок проезжей части ППО и полосы прямого направления в начале ППО и их схождения в конце ППО.

Ширина полосы движения двухполосного ППО при расчетной интенсивности движения на ППО менее 3000ед/сут равна 3,25м, при большей интенсивности 3,50м. В случае двухполосного ППО на закруглениях малого радиуса предусматривается уширение проезжей части как на обычной дороге в соответствии с радиусом кривой.

2.1.2. Сквозной распределительный проезд.

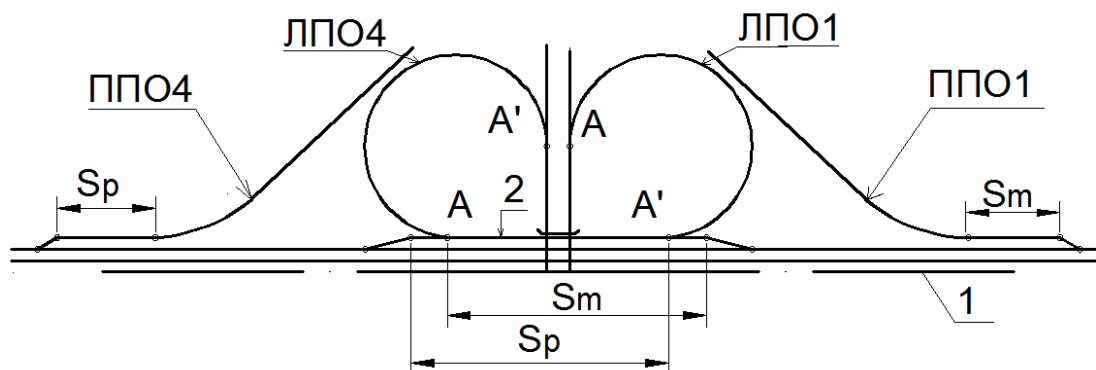


Рис. 2.1.5. Фрагмент схемы трассы транспортной развязки «клеверный лист» в зоне транзитных полос автомобильной дороги категории I: 1 – ось дороги I категории; 2 – ось полосы переплетения транспортных потоков.

При обычной схеме транспортной развязки «клеверный лист» на дороге I категории транспортные потоки, движущиеся по крайней транзитной полосе и на соединительные ответвления, образуют две точки разветвления потоков и две слияния. Кроме того, на участке от точки A' (конец ЛПО1, начало полосы разгона) до точки A (начало ЛПО4, конец полосы разгона) происходит переплетение потоков. Минимальная длина полосы переплетения по ТКП 509–2014 составляет 250м.

Для повышения безопасности движения на транзитных полосах и на полосе переплетения потоков дороги I категории на транспортной развязке «клеверный лист» в зарубежной практике предусматривают сборно-распределительные полосы или сквозной распределительный проезд по терминологии ТКП 509–2014 (рис.2.1.6).

Сквозной распределительный проезд по ТКП 509–2014 следует предусматривать в следующих случаях:

- на дорогах I-а категории при отмыкании и (или) примыкании более двух соединительных ответвлений с одной стороны автомобильной дороги;
- на дорогах I-а, I-б и I-в категории при длине полосы переплетения потоков менее 250м между точками схождения и расхождения кромок;
- на дорогах I-а, I-б и I-в категории, если суммарная расчетная интенсивность движения на соседних отмыкающем и примыкающем соединительных ответвлениях превышает 600 автомобилей в час;

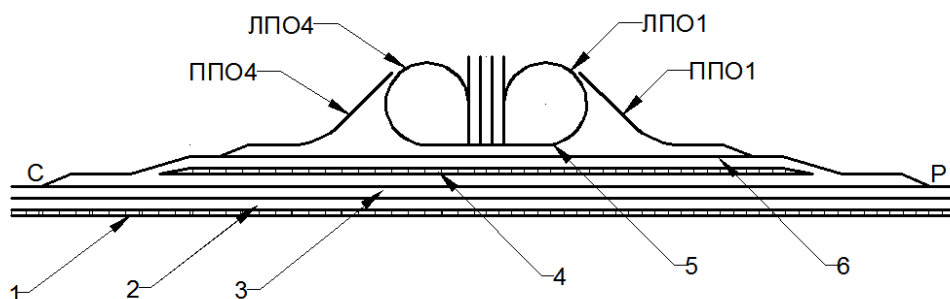


Рис. 2.1.6. Фрагмент плана трассы транспортной развязки «клеверный лист» со сквозным распределительным проездом: 1 – центральная разделительная полоса; 2, 3 – оси транзитных полос; 4 – дополнительная разделительная полоса;

5 – ось полосы переплетения потоков; 6 – ось сквозного распределительного проезда.

Сквозной распределительный проезд отделяется от транзитных полос широкой разделительной полосой (рис.2.1.6) или разделительной полосой, аналогичной разделительной полосе между встречными полосами движения шириной 2,70 м с установкой на ней двухстороннего барьерного ограждения (рис.2.1.7.).

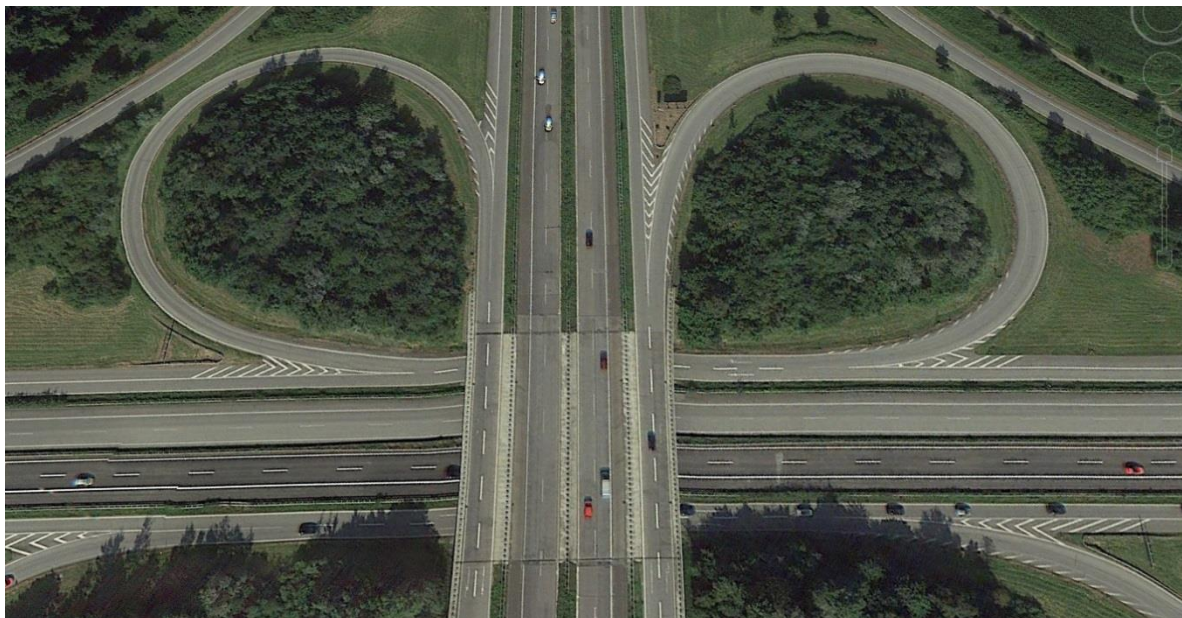


Рис. 2.1.7. Фрагмент плана транспортной развязки «клеверный лист» со сквозными распределительными проездами на пересекающихся магистралях.

2.1.3. Общие сведения о путепроводах

На транспортных развязках проектируют *железобетонные* путепроводы.

Железобетонный путепровод включает опоры, пролетное строение, мостовое полотно, тротуары, ограждения.



Рис. 2.1.8. Трехпролетный балочный путепровод.

Опоры путепроводов бывают стоечные и рамные.

Пролетные строения путепроводов чаще всего проектируют балочно-разрезной системы. Такие пролетные строения состоят из Т – образных балок длиной 12, 15, 18, 21, 24 и 33м. Применяют также путепроводы неразрезной и рамной системы.



Рис. 2.1.9. Четырехпролетный балочный путепровод на дороге М-14.



Рис. 2.1.10. Монтаж балок пролетного строения на рамную опору.

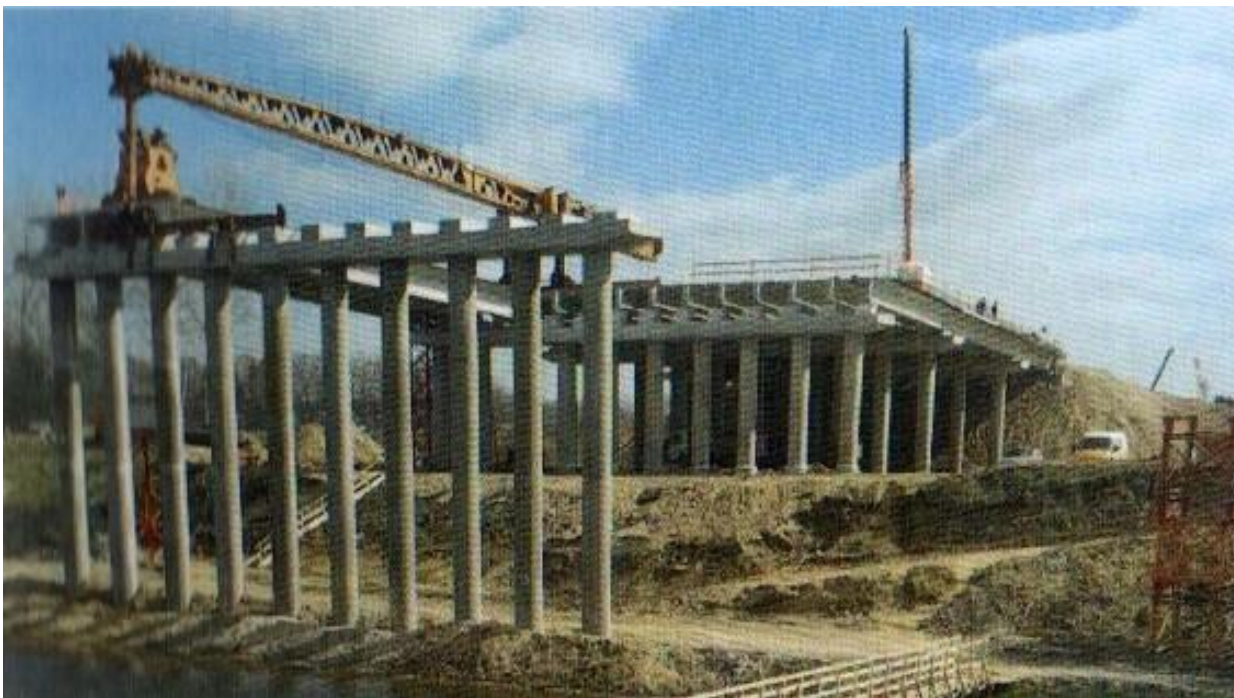


Рис. 2.1.11. Монтаж балок пролетного строения на стоечную опору

При проектировании транспортных развязок используют термины «дорожное полотно» для пересекающихся автомобильных дорог и «мостовое полотно» для путепроводов.

Мостовое полотно включает ездовое полотно, тротуары, барьерные ограждения со стороны тротуара и на разделительных полосах, перильные ограждения, а также устройства для водоотвода.

Ездовое полотно дорог I, II, III и IV категорий состоит из основных полос, дополнительных полос торможения и разгона, правых и левых полос безопасности. В случае IV категории дополнительные полосы не проектируют.

Ширина правых полос безопасности равна 2,50м на дорогах I–а категории, 2,0м на дорогах I–б, I–в категорий, 1,50м на дорогах III категории и 1,0м на дорогах IV категории. Ширина левых полос безопасности со стороны ограждения, центральной разделительной полосы на дороге I категории равна 1,0м.

Если на дороге I категории предусмотрен сквозной распределительный проезд, отделяемый от транзитных полос дополнительной разделительной полосой шириной 2,70м, то правые и левые полосы безопасности со стороны барьерного ограждения равны 1,0м.

Мостовое полотно дорог I категории имеет центральную разделительную полосу шириной 2,70м. На ней устанавливается барьерное ограждение шириной 0,70м.

На дорогах I категории мостовое полотно может иметь сквозной распределительный проезд, отделяемый от транзитных полос движения дополнительной разделительной полосой шириной 2,70м.

Тротуары предназначены для движения пешеходов. В зависимости от количества пешеходов тротуары бывают однополосными шириной 1,0м и двухполосными шириной 2х0,75м. При малой интенсивности движения, когда транспортная развязка расположена за пределами населенного пункта, предусматривают служебные тротуары шириной 0,75м.

Численной характеристикой ездового полотна является *габарит путепровода*. Он равен ширине ездового полотна. Дополнительно указывают ширину тротуаров.

Если на дороге первой категории сквозной распределительный проезд проектируют только со стороны правой или левой проезжей части дороги, проходящей в верхнем уровне, то путепровод располагается относительно оси верхней дороги несимметрично. В этом случае габарит путепровода указывают для левой и правой части. Например, $G = (19,15 + 12,95) + 2 \times 0,75$.

3.2. Определение длины балочного путепровода.

Балочные путепроводы над двухполосными дорогами проектируются трехпролетными (рис. 2.2.1), а над многополосными дорогами I категории четырехпролетными (рис. 2.2.2).

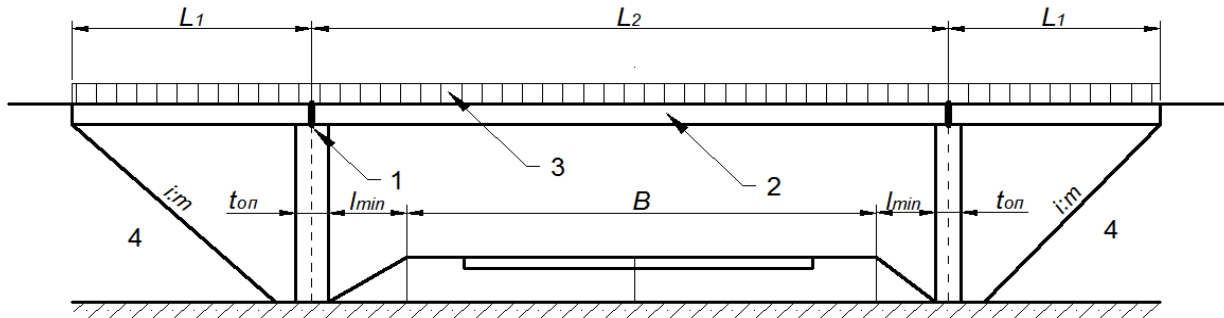


Рис. 2.2.1. Схема трехпролетного балочного путепровода: 1 – опора; 2 – пролетное строение; 3 – перила; 4 – конус насыпи.

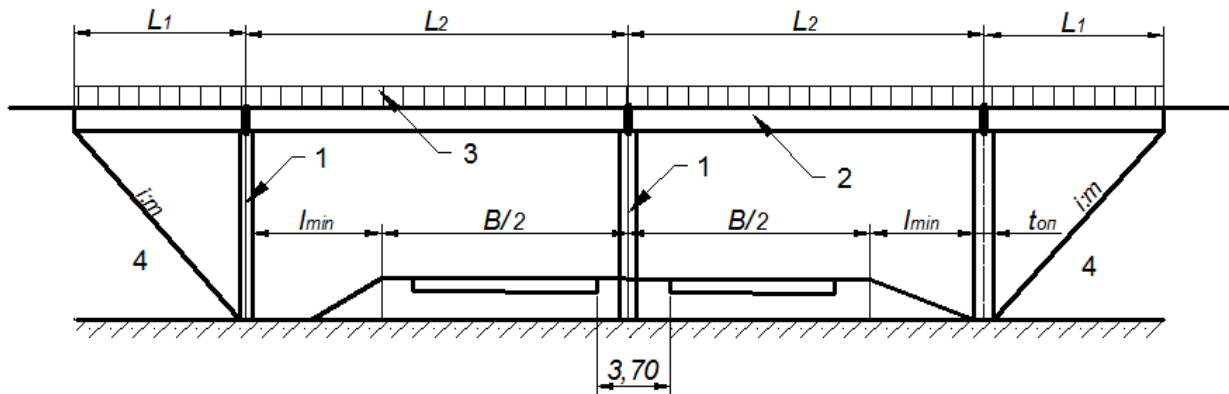


Рис. 2.2.2. Схема четырехпролетного балочного путепровода: 1 – опора; 2 – пролетное строение; 3 – перила; 4 – конус насыпи.

2.2.1. Определение длины среднего пролета путепровода.

Требуемая длина среднего пролета $L_{\tau 2}$ трехпролетного путепровода вычисляется по формуле (2.2.1), длина средних пролетов четырехпролетного путепровода по формуле (2.2.2):

$$L_{\tau 2} = (B + 2 \cdot l_{\min} + t_{\text{оп}}) / \sin \alpha; \quad (2.2.1)$$

$$L_{\tau 2} = (0,5 \cdot B + l_{\min} + 0,5 \cdot t_{\text{оп}}) / \sin \alpha, \quad (2.2.2)$$

где B – ширина дорожного полотна нижней дороги с учетом ширины дополнительных полос, разделительной полосы, распределительного проезда;

l_{\min} – минимальное расстояние от бровки обочины до опоры, равное 2,0м для дорог I, II, III категорий и 0,50м для дороги IV категории;

$t_{\text{оп}}$ – ширина опоры (в курсовом проекте может быть принята равной 0,4м);

α – острый угол пересечения осей дорог.

Полученные по формулам (2.2.1) или (2.2.2) требуемые длины средних пролетов сопоставляются с типовыми длинами 12; 15; 18; 21; 24; 33м. Для дальнейших расчетов длины путепровода принимают ближайшую большую типовую длину пролета L_2 .

2.2.2. Определение длины путепровода

Требуемая длина путепровода определяется после проектирования продольного профиля нижней дороги (§2.3.1) и определения контрольной отметки на путепроводе (формула 2.3.13).

Обычно нижняя дорога проходит в насыпи. В этом случае требуемую длину путепровода определим из схемы, представленной на рисунке (2.2.3), по формуле (2.2.3).

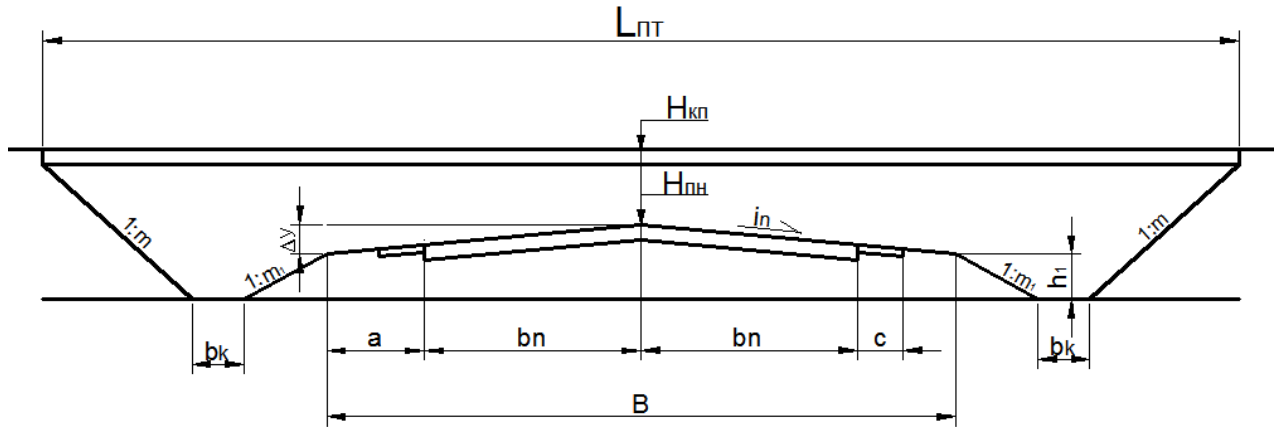


Рис. 2.2.3. Схема к определению требуемой длины путепровода при прохождении нижней дороги в насыпи.

$$L_{пт} = [B + 2 \cdot (m_1 \cdot h_1 + b_k + m \cdot (H_{кп} - H_ч) + \Delta)] / \sin \alpha ; \quad (2.2.3)$$

где B – ширина дорожного полотна нижней дороги с учетом дополнительных и разделительных полос;

m_1 – заложение откоса насыпи, зависит от высоты насыпи и категории нижней дороги;

h_1 – высота откоса насыпи нижней дороги, определяется по формуле (2.2.4);

b_k – расстояние между подошвами насыпи нижней дороги и конуса подхода насыпи верхней дороги (в курсовом проекте может быть принята 1,0 м);

$H_{кп}$ – отметка контрольной точки продольного профиля верхней дороги на путепроводе;

$H_ч$ – отметка поверхности земли в точке пересечения осей дорог 1 и 2;

m – заложение откоса конуса насыпи верхней дороги ($m = 1,5; 2,0$).

Δ – заглубление конструкции путепровода в конус насыпи, принимается равным 0,75 м;

Откос насыпи высотой до 3,0 м на дорогах категории I-а проектируют заложением $m_1 = 4$, на дорогах категории I-б, I-в, II заложением $m_1 = 3$. На дорогах III категории предусматривают заложение $m_1 = 3$ при высоте откоса до 2,0 м. При высоте откоса более 3,0 м ($2,0$ м) $m_1 = 1,75$ для земляного полотна из глинистых грунтов и $m_1 = 1,5$ для песков.

Высота откоса насыпи нижней дороги вычисляется по формуле (2.2.4):

$$h_1 = H_{пн} - H_ч - \Delta Y, \quad (2.2.4)$$

где $H_{пн}$ – отметка продольного профиля нижней дороги;

$H_ч$ – отметка поверхности земли в точке пересечения осей дорог 1 и 2;

ΔY – разность отметок продольного профиля нижней дороги и бровки обочины вычисляется по формуле (2.2.5) в случае дорог категории II, III;

$$\Delta Y = i_n(b + b_d + c) + i_o(a - c), \quad (2.2.5)$$

где i_n, i_o – поперечный уклон проезжей части и обочины;

b, b_d, c – ширина основной, дополнительной и укрепленной полос;

a – уменьшенная ширина обочины при наличии дополнительной полосы.

На дорогах I категории продольный профиль относится к кромке проезжей части каждого направления со стороны центральной разделительной полосы. Высота откоса насыпи h_1 нижней дороги определяется по формуле (2.2.4) с учетом формулы (2.2.5). При наличии сквозного распределительного проезда высота откоса насыпи h_1 нижней дороги определяется по формуле (2.2.4) с учетом формулы (2.2.6):

$$\Delta Y = i_n \cdot (n \cdot b + z + b_d + b_n) + i_0(a - c), \quad (2.2.6)$$

где n – число полос движения на проезжей части каждого направления;

z – ширина разделительной полосы между транзитными полосами основной проезжей части и дополнительной полосой b_d в виде сквозного распределительного проезда;

b_n – ширина полосы переплетения.

В случае выемки требуемая длина путепровода вычисляется по геометрическим соображениям с учетом черных отметок, а также отметок продольного профиля и принятой глубины кювета.

Требуемая длина крайних пролетов трехпролетного путепровода вычисляется по формуле (2.2.7.1), четырехпролетного путепровода по формуле (2.2.7.2):

$$L_{т1} = (L_{пт} - L_2)/2; \quad (2.2.7.1)$$

$$L_{т1} = (L_{пт} - 2L_2)/2, \quad (2.2.7.2)$$

где L_2 – длина средних пролетов, определена ранее.

Полученное по формулам (2.2.7) значение требуемой длины крайних пролетов сопоставляется с типовым.

Если требуемая длина крайних пролетов $L_{т1}$ превышает длину типовых пролетов на небольшую величину, то возможно уменьшение величины $L_{т1}$ путем увеличения крутизны откосов конусов насыпи верхней дороги, приняв в формуле (2.2.3) $m < 2,0$. ТКП «мосты и трубы» допускает уменьшать m до 1,35. Возможно также уменьшение величины b_k в формуле (2.2.3).

Общая длина $L_{пут}$ трехпролетного путепровода вычисляется по формуле (2.2.8.1), четырехпролетного путепровода по формуле (2.2.8.2):

$$L_{пут} = 2 \cdot L_1 + L_2; \quad (2.2.8.1)$$

$$L_{пут} = 2 \cdot (L_1 + L_2); \quad (2.2.8.2)$$

Пикетное положение начала путепровода на верхней дороге номером m ($m = 1, 2$):

$$PK_m(НП) = PK_m(0) - 0,5L_{пут}, \quad (2.2.9)$$

где $PK_m(0)$ – пикетное положение на дороге m точки пересечения осей дорог.

Путепровод на продольном профиле обозначается в соответствии с рисунком 2.2.4.

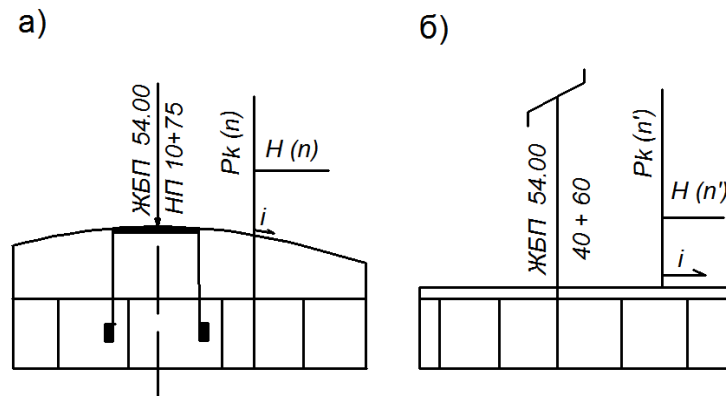


Рис. 2.2.4. Обозначение путепровода на продольном профиле дорог, проходящих:
а) – в верхнем уровне, б) – в нижнем уровне.

2.3. Проектирование продольного профиля пересекающихся дорог.

Проектирование продольного профиля трассы автомобильной дороги включает:

- построение черного профиля;
- назначение контрольных и руководящих рабочих отметок;
- проектирование продольного профиля трассы дороги;
- составление чертежа «Продольный профиль дороги» (геологический профиль не составляется).

Черный профиль дорог вычерчивают в масштабах 1:5000 (горизонтальный) и 1:500 (вертикальный) по данным о рельефе местности вдоль трассы дороги.

Контрольными точками чаще всего являются пересечения водотоков с помощью водопропускных труб.

У труб контрольная отметка по засыпке над трубой (не менее 0,5 м) равна:

$$H_{\text{тр}} = H_{\text{ч}} + d + t + 0,5 + h_{\text{м}} + (nb_1 + c) i_{\text{п}},$$

где $H_{\text{ч}}$ – отметка черного профиля;

d – внутренний диаметр круглой или высота прямоугольной трубы;

t – толщина стенки трубы (в курсовом проекте допускается принимать 0,08 м для d равного 0,8 и 0,1 м – для остальных труб);

$h_{\text{м}}$ – толщина монолитных слоев дорожной одежды;

n – число полос в одном направлении;

b_1 – ширина полосы движения;

c – ширина укрепленной полосы (на дорогах IV, III, II, I-б категорий или остановочной на дорогах категории I-a);

$i_{\text{п}}$ – уклон проезжей части ($i_{\text{п}} = 0,020$ на дорогах V, IV, III и II категории; $i_{\text{п}} = 0,025$ на дорогах I категории);

Руководящие рабочие отметки

Продольный профиль трассы (ось проезжей части) следует стремиться проектировать по обертывающей (в насыпях).

Руководящие рабочие отметки $h_{\text{р}}$ (минимальные высоты насыпи) по обеспечению снегонезаносимости дороги на открытых участках вычисляют:

$$h_{\text{р}}^1 = h_{\text{сн}5\%} + \Delta h + (n \cdot b_1 + c) \cdot i_{\text{п}} + (a - c) \cdot i_{\text{о}},$$

где $h_{\text{сн}5\%}$ – высота снега в данной местности с вероятностью превышения 5% (рекомендуется принимать 0,4–0,5 м в Брестской и Гродненской областях, 0,6 м – в Гомельской и Минской, 0,6–0,7 м – в Витебской и Могилевской);

Δh – запас высоты насыпи над снежным покровом для размещения сбрасываемого с дороги снега и увеличения скорости снежного потока над дорогой, равный 1,2 м для дорог категории I-a; 1,0 м для дорог категорий I-б, I-в; 0,7 м – для II; 0,6 м – для III.

2.3.1. Проектирование продольного профиля нижней дороги.

Продольный профиль нижней дороги проектируют с учетом рельефа местности, руководящих и контрольных отметок, категории дороги по методике, рассмотренной при выполнении курсового проекта «Основы проектирования автомобильных дорог» [5]. По этой методике вначале назначают ломанный продольный профиль трассы автомобильной дороги с учетом положения черного профиля, руководящих рабочих отметок в соответствии с типом местности, а также контрольных отметок водопропускных труб. Далее графически определяют пикетное положение и высотные отметки начала и конца отрезков ломанной трассы. По этим данным вычисляют уклоны и длину отрезков ломанного продольного профиля, а также пикетное положение и отметки переломов трассы.

Результаты определения уклонов и длин отрезков ломанного продольного профиля оформляют в табличной форме (таблица 2.3.2.)

Таблица 2.3.2.

Вычисление отметок и уклонов ломанной трассы

| Точки | | A ₀ | A ₁ | A ₂ | A ₃ |
|-----------------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Пикетные положения | | 11+00 | 13+00 | 15+00 | ... |
| Отметки точек | начальные | 64,00 | 66,00 | 64,00 | ... |
| | после уточнения | 64,00 | 66,00 | 64,00 | ... |
| Уклоны, % | начальные | | +10 | -10 | ... |
| | после уточнения | | +10 | -10 | ... |
| Прямые П _i | | | 200 | 200 | ... |

Правильность составления таблицы 2.3.2 проверяется по условию:

$$\sum P_i \cdot i_{i1} + i_n \cdot P_n = H(KX) - H(NX), \quad (2.3.1)$$

где P_i – длина отрезка ломаного продольного профиля;(P₁ = A₁ – A₀; P₂ = A₂ – A₁; ... ; P_n = KX – A_n);i_{1, i} – уклоны прямых, которые подходят к перелому A_i;i_n – уклон последней прямой (P_n – A_n);

H(KX), H(NX) – отметки конечной и начальной точек ломаного продольного профиля трассы дороги.

Оформляют чертеж «Ломанный продольный профиль трассы дороги номер...». Он включает черный профиль и ломанный продольный профиль с указанием пикетного положения и отметок концов отрезков, их длины и уклонов. Фрагмент ломанного продольного профиля трассы дороги, проходящей в нижнем уровне, приведен на рисунке 2.3.1.

Ломанный продольный профиль трассы нижней дороги.

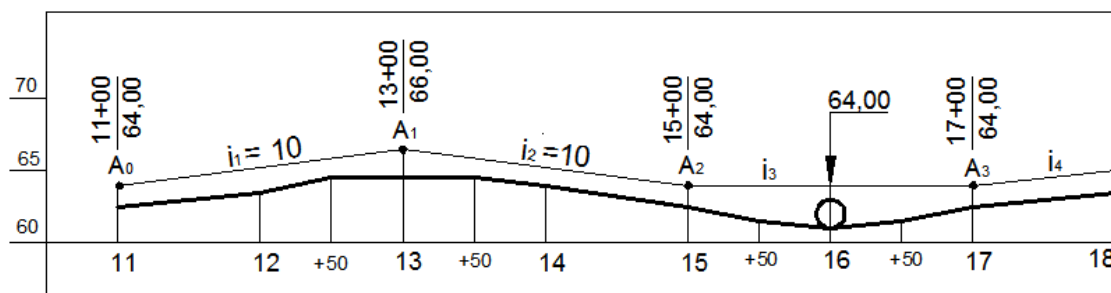


Рис. 2.3.1. Ломанный продольный профиль трассы нижней дороги (фрагмент).

В переломы продольного профиля вписывают вертикальные кривые. Для уменьшения объемов земляного полотна на транспортной развязке радиусы выпуклых вертикальных кривых в границах транспортной развязки следует принимать минимальными, равными 25000м на дороге категории I–а и 15000м на дорогах категорий I–б, I–в и II. На дорогах категории III при наличии перспективы перевода в

категорию II следует принять радиус выпуклой кривой 15000м вместо минимального, равного 8000м. Радиусы вогнутых кривых следует применять рекомендуемые, равные 8000м.

Пользуясь данными таблицы 2.3.2, определяют переломы ω в точках A_i , длины вертикальных кривых K_i , тангенсы этих кривых по формулам (2.3.2) и пикетное положение начала и конца кривых по формулам (2.3.3):

$$K_i = R_i \cdot \omega; \quad T_i = 0,5 \cdot K_i; \quad (2.3.2)$$

$$PK_m(HK_i) = PK_m(A_i) - T_i; \quad PK_m(KK_i) = PK_m(A_i) + T_i, \quad (2.3.3)$$

где $PK_m(HK_i), PK_m(KK_i)$ – пикетное положение на дороге номером m ($m= 1,2$) начала и конца кривой;

$PK_m(A_i)$ – пикетное положение на дороге m перелома A_i .

По данным о пикетном положении начала и конца кривых, начала и конца трассы, вычисляют длины оставшихся прямых участков.

Длина первого прямого участка от трассы до начала первой кривой вычисляется по формуле (2.3.4):

$$l_1 = PK_m(HK_1) - PK_m(A_0). \quad (2.3.4)$$

Длину прямой l_i между соседними кривыми и длину прямой l_n от конца последней кривой до конца трассы вычисляют по формулам(2.3.5).

$$l_i = PK_m(HK_i) - PK_m(KK_{i-1}); \quad l_n = PK_m(KX) - PK_m(KK_n), \quad (2.3.5)$$

где $PK_m(HK_i), PK_m(KK_{i-1})$ – пикетное положение на дороге номером m начала последующей кривой и конца предыдущей;

$PK_m(KX), PK_m(KK_n)$ – пикетное положение на дороге номером m конца хода и конца последней вертикальной кривой.

Расчет элементов продольного профиля выполняют в табличной форме (таблица 2.3.3). Радиусы выпуклых кривых со знаком «+», а вогнутых кривых со знаком «-».

Таблица 2.3.3

Расчет элементов продольного профиля

| A_i | $PK_m(A_i)$ | $\pm R_i$ | ω_i | K_i | T_i | $PK_m(HK_i)$ | $PK_m(KK_i)$ | l_i |
|-------|-------------|-----------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 0 | 11+00 | | | | | | | 50 |
| 1 | 13+00 | 15000 | 0,020 | 300 | 150 | 11+50 | 14+50 | |
| 2 | 15+00 | -8000 | 0,010 | 80 | 40 | 14+60 | 15+40 | 10 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | l_n |
| KX | ... | | | | | | | |
| | | | | ΣK_i | ΣT_i | | | Σl_i |

Проверяют правильность расчетов длин кривых и прямых:

$$\Sigma l_i + \Sigma K_i = PK_m(KX) - PK_m(A_0); \quad \Sigma K_i = 2 \Sigma T_i. \quad (2.3.6)$$

Если условия (2.3.6) выполнены, переходят к расчету отметок продольного профиля трассы.

Высотные **отметки начала и конца вертикальных кривых** вычисляют по формулам (2.3.7). Для контроля отметку конца кривой вычисляют дополнительно по формуле (2.3.8):

$$H(\text{НК}_i) = H(A_i) - (\pm i_{1,i} \cdot T_i); \quad H(\text{КК}_i) = H(A_i) + (\pm i_{2,i} \cdot T_i); \quad (2.3.7)$$

$$H(\text{КК}_i) = H(\text{НК}_i) + \Delta H(K_i); \quad \Delta H(K_i) = T_i(i_{1i} + i_{2i}), \quad (2.3.8)$$

где $H(A_i)$ – отметка i -го перелома (таб.2.3.2);

$\pm i_{1,i}$ – уклон прямой на подходе к перелому A_i , в долях единицы;

$\pm i_{2,i}$ – уклон прямой после перелома A_i , в долях единицы;

T_i – тангенс, равный половине кривой K_i (таб.2.3.3);

$\Delta H(K_i)$ – разность отметок конца и начала кривой.

В формулах (2.3.7) и (2.3.8) знак уклона «+» на подъеме и «-» на спуске.

На прямых участках, расположенных между соседними кривыми, отметки начала и конца прямого участка соответствуют отметкам конца предыдущей кривой и начала последующей кривой.

Результаты вычисления отметок начала и конца кривых оформляют в виде таблицы 2.3.4.

Таблица 2.3.4

Вычисления отметок начала и конца кривых

| A_i | ПК(A_i) | $H(A_i)$ | i_i | $i_{(i+1)}$ | T_i | $\Delta H(K_i)$ | $H(\text{НК}_i)$ | $H(\text{КК}_i)$ | l_i | $l_i i_i$ |
|-------|-------------|----------|------------------------|-------------|-------|-----------------|------------------|------------------|-------|------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| A_1 | 13+00 | 66,00 | +0,01 | -0,01 | 150 | 0 | 64,50 | 64,50 | 50 | +0,50 |
| A_2 | 15+00 | 64,00 | -0,01 | 0 | 40 | -0,40 | 64,40 | 64,00 | 10 | -0,10 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | $\Sigma l_i i_i$ |
| КХ | | | $\Sigma \Delta H(K_i)$ | | | | | | l_n | $l_n i_n$ |

При составлении таблицы 2.3.4 длины прямых участков продольного профиля принимаются по таблице 2.3.3.

Правильность составления таблицы 2.3.4 проверяют по условию:

$$\Sigma \Delta H(K_i) + \Sigma l_i \cdot i_i + l_n i_n = H(\text{КХ}) - H(\text{НХ}),$$

где $H(\text{КХ})$, $H(\text{НХ})$ – отметки конца и начала продольного профиля трассы.

Отметки промежуточных точек вертикальных кривых могут вычисляться двумя способами.

Способ1. Начало координат назначают в вершине вертикальной кривой. Высотная отметка промежуточной точки C вычисляется по формуле (2.3.9).

$$H(C) = H(B) \pm l_c^2 / (2R), \quad (2.3.9)$$

где $H(B)$ – отметка вершины кривой радиуса R ;

l_c – расстояние от вершины кривой до точки C .

В формуле (2.3.9) знак «-» в случае выпуклой кривой, а знак «+» в случае вогнутой кривой.

Отметка вершины кривой вычисляется по формуле (2.3.10).

$$H(B) = H(\text{НК}_i) \pm l_1^2 / (2R); \quad H(B) = H(\text{КК}_i) \pm l_2^2 / (2R), \quad (2.3.10)$$

где $H(HK_i)$, $H(KK_i)$ – отметка начала и конца кривой;
 l_1, l_2 – расстояние от начала или конца кривой до вершины:

$$l_1 = i_1 R; \quad l_2 = i_2 R, \quad (2.3.11)$$

где i_1, i_2 – уклоны прямых, касательных к началу и к концу вертикальной кривой радиуса R .

В формулах (2.3.10) знак «+» в случае выпуклой кривой, знак «-» в случае вогнутой кривой.

Способ 2. Начало координат расположено в начале или конце вертикальной кривой. Ось x направлена по касательной к кривой в начале или в конце кривой. Отметка промежуточной точки C вычисляется по формулам (2.3.12):

$$H(C) = H(HK_i) + i_1 \cdot x \pm x^2 / (2R); \quad H(C) = H(KK_i) - i_2 \cdot x \pm x^2 / (2R), \quad (2.3.12)$$

где x – расстояние от начала или конца вертикальной кривой до промежуточной точки C .

В формулах (2.3.12) знак «-» на выпуклых кривых и знак «+» на вогнутых кривых, уклоны i_1 и i_2 имеют на спуске знак «-», на подъеме «+».

Рекомендуется вычислять отметки промежуточных точек по способу 1, если на переломе A_i уклоны i_i и $i_{(i+1)}$ меняют знак. В этом случае на вертикальной кривой K_i имеется вершина. При этом если $i_i \geq 0$ и $i_{(i+1)} \leq 0$, то кривая выпуклая, если $i_i \leq 0$ и $i_{(i+1)} \geq 0$, то кривая вогнутая. Отметка вершины выпуклой кривой максимальная, а вогнутой – минимальная.

Если на переломе A_i уклоны i_i и $i_{(i+1)}$ не меняют знак, то вершина вертикальной кривой расположена за пределами проектируемого отрезка вертикальной кривой. Рекомендуется вычислять отметки промежуточных точек на вертикальной кривой по способу 2.

Чертеж «Продольный профиль нижней дороги» включает таблицу исходной информации и проектных решений, черный профиль, продольный профиль трассы дороги, рабочие отметки, данные о водопропускных трубах. Геологический профиль не составляется.

В таблице исходной информации и проектных решений исключают строку 1 («Развернутый план дороги»). В строке 11 план трассы дороги рисуют прямой и указывают на ней дирекционный угол трассы дороги.

Сверху над черным и продольным профилем дороги размещают ломанный продольный профиль трассы нижней дороги, фрагмент которого показан на рисунке 2.3.1.

2.3.2. Проектирование продольного профиля верхней дороги.

Продольный профиль верхней дороги также следует проектировать по методике изложенной выше для нижней дороги с учетом необходимости строительства путепровода и соблюдения в связи с этим контрольной отметки продольного профиля на путепроводе.

Нормы проектирования продольного профиля верхней дороги следует принимать в соответствии с категорией дороги. В случае вогнутых вертикальных кривых назначают рекомендуемые радиусы равные 8000 м на дорогах категории I – III.

Максимальный продольный уклон трассы дороги на путепроводе следует принимать не более 20%, а в границах транспортной развязки не более 40%. Минимальный продольный уклон не нормируется.

Нормируется также автодорожный габарит, равный расстоянию от низа пролетного строения путепровода до наиболее высокой точки проезжей части дороги, проходящей в нижнем уровне. Для обеспечения этого габарита продольный профиль верхней дороги должен проходить через контрольную точку на путепроводе.

Отметка контрольной точки продольного профиля на путепроводе вычисляется по формуле (2.3.13) в случае трехпролетного путепровода и по формуле (2.3.14) в случае четырехпролетного:

$$H_{кп} = H_{пн} + 5,5 + 0,2 + C_{п}; \quad (2.3.13)$$

где $H_{пн}$ – отметка продольного профиля трассы нижней дороги на пикете, соответствующем точке пересечения осей дорог;

5,5 – автодорожный габарит;

0,20 – запас габарита на усиление дорожной одежды при реконструкции (не нормируется);

$C_{п}$ – строительная высота балочного пролетного строения.

$$C_{п} = h_b + \Delta_c, \quad (2.3.14)$$

где h_b – высота балки пролетного строения путепровода;

Δ_c – толщина дорожной одежды ездового полотна (0,05 – 0,10 м).

Высота балки зависит от длины и равна 0,90 м для балки длиной 12 и 15 м, 1,2 м для балок длиной 18, 21, 24 м и 1,50 м для балки длиной 33 м (см. §2.2.1).

Продольный профиль верхней дороги в зоне путепровода проектируют по выпуклой кривой с вершиной в точке В.

При равнинном рельефе вершину выпуклой кривой совмещают с контрольной точкой $H_{кп}$ на путепроводе.

Если черный профиль верхней дороги имеет выраженный подъем (спуск), то для уменьшения объемов работ по отсыпке насыпей вершину выпуклой кривой смещают относительно контрольной точки на путепроводе на величину ℓ_b (рис. 2.3.2).

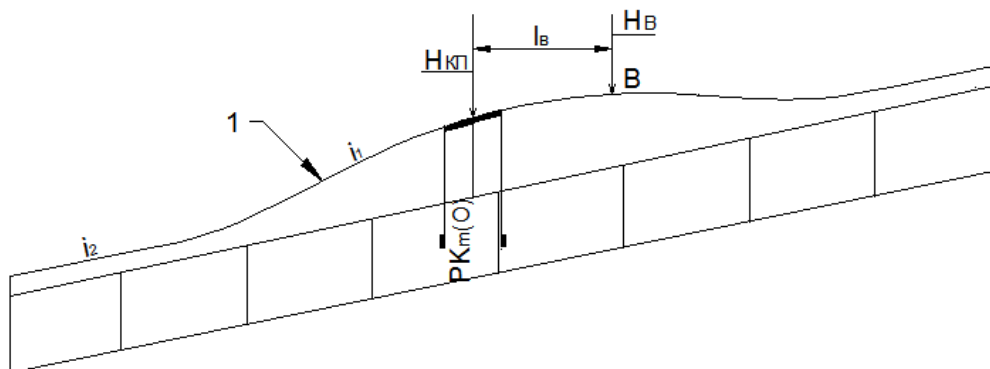


Рис. 2.3.2. Схема продольного профиля дороги, проходящей в верхнем уровне со смещением вершины выпуклой кривой относительно середины путепровода.

Пикетное положение и отметка вершины выпуклой кривой радиуса R_1 вычисляются по формулам (2.3.15):

$$PK_m(B) = PK_m(O) \pm \ell_b; \quad H_b = H_{кп} + \ell_b^2 / (2R_1), \quad (2.3.15)$$

где $PK_m(O)$ – пикетное положение на дороге m точки пересечения осей дорог 1 и 2;

ℓ_b – смещение вершины выпуклой кривой относительно точки пресечения осей дорог 1 и 2, назначается из условия (2.3.16);

$H_{кп}$ – см (2.3.13).

Так как продольный уклон на путепроводе должен быть не более 20%, то смещение вершины выпуклой кривой относительно середины путепровода принимают исходя из выполнения условия (2.3.16):

$$\ell_b \leq 0,020 \cdot R_1 - 0,5L_{пут}, \quad (2.3.16)$$

где $L_{\text{пут}}$ – длина путепровода (см. 2.2.8).

Методика [...] проектирования продольного профиля трассы дороги основана на получении ломаного продольного профиля и вписывания в переломы выпуклых и вогнутых кривых.

2.3.2.1. Проектирование ломаного продольного профиля на подходах к путепроводу.

Ломаная трасса верхней дороги на подходах к путепроводу включает (рис. 2.3.3) переломы A_{n-1} , A_n , A_{n+1} , A_{n+2} . Положение перелома на продольном профиле определяется подбором, изменяя величину уклона i_1 касательной к началу или концу выпуклой кривой радиуса R_1 .

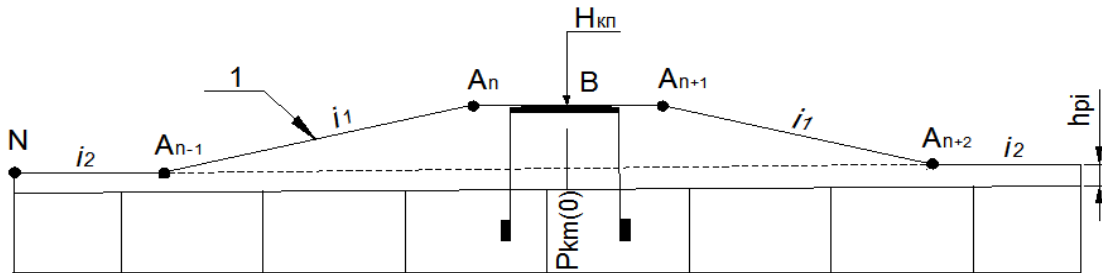


Рис.2.3.3. Схема ломаного продольного профиля 1 на подходах к путепроводу.

Рассмотрим последовательность определения переломов A_n и A_{n+1} . (рис. 2.3.4).

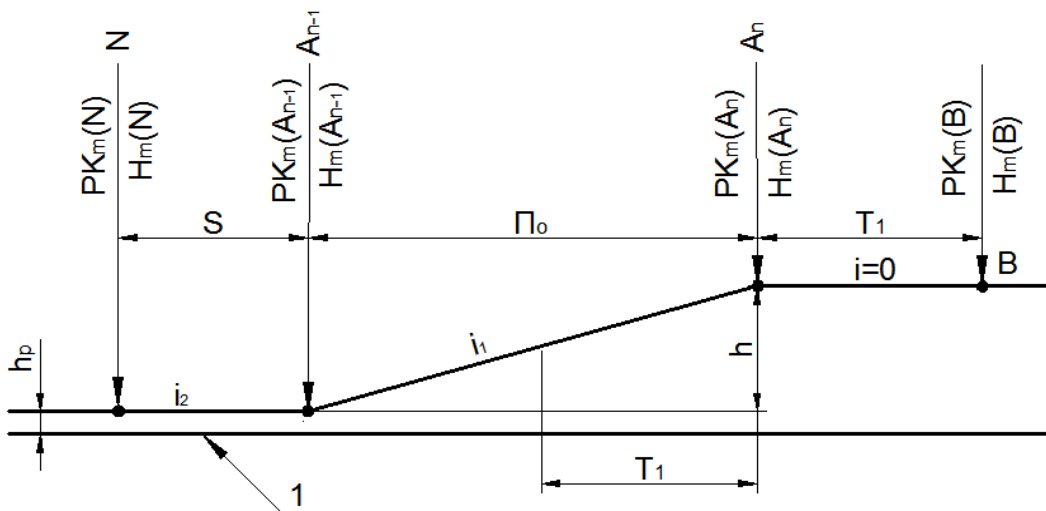


Рис.2.3.4. Схема к определению положения переломов A_n и A_{n-1} продольного профиля верхней дороги в зоне путепровода:
1 – черный профиль.

1. Назначают уклон i_1 касательной к началу выпуклой кривой (например, $i_1 \leq 0,040$) и вычисляют тангенс выпуклой кривой с вершиной в точке B:

$$T_1 = 0,5R_1 \cdot i_1.$$

2. Определяют пикетное положение и отметку перелома A_n .

$$PK_{м}(A_n) = PK_{м}(B) - T_1$$

Случай 1. Продольный уклон $i_2 = 0$.

3. На продольном профиле подхода к путепроводу назначают точку N на пикете $PK(N)$ с отметкой $H_m(N)$ (рис.2.3.4) и определяют превышение и расстояние между переломами A_n и A_{n-1} по формулам:

$$h = H_m(A_n) - H_m(N); \quad \Pi_0 = h / i_1.$$

4. Определяют пикетное положение и отметку перелома A_{n-1} :

$$PK_m(A_{n-1}) = PK_m(A_n) - \Pi_0; \quad H_m(A_{n-1}) = H_m(N). \quad (2.3.17)$$

Случай 2. Продольный уклон $i_2 \neq 0$.

5. Выполняют расчет по 1 – 4 и корректируют положение перелома A_{n-1} .

Если $i_2 > 0$, то расстояние между переломами A_n и A_{n-1} уменьшается на величину ℓ_1 , если $i_2 < 0$, то это расстояние увеличивается на величину ℓ_2 :

$$\ell_1 = i_2 \cdot S / i_1; \quad \ell_2 = i_2 \cdot S / (i_1 + i_2), \quad (2.3.18)$$

где S – расстояние между точками N и A_{n-1} определяется по формуле:

$$S = PK_m(A_{n-1}) - PK_m(N),$$

где $PK_m(A_{n-1})$ – пикетное положение перелома A_{n-1} при $i = 0$, определено по формуле (2.3.17).

Если $S < 0$, то следует изменить положение точки N на продольном профиле подхода к путепроводу. формуле (2.3.18) уклоны i_1 и i_2 принимают по абсолютной величине.

6. Определяют пикетное положение и отметки перелома A_{n-1} по формулам (2.3.19) при $i_2 > 0$ и по (2.3.20) при $i_2 < 0$:

$$PK_m(A_{n-1}) = PK_m(A_n) - \Pi_0 - \ell_1; \quad (2.3.19.1)$$

$$H_m(A_{n-1}) = H_m(A_n) - i_1(\Pi_0 - \ell_1); \quad (2.3.19.2)$$

$$PK_m(A_{n-1}) = PK_m(A_n) - \Pi_0 + \ell_2; \quad (2.3.20.1)$$

$$H_m(A_{n-1}) = H_m(A_n) - i_1(\Pi_0 + \ell_2). \quad (2.3.20.2)$$

7. Анализируют расстояние Π_i между переломами A_n и A_{n-1} . Это расстояние должно быть достаточным для размещения тангенса выпуклой кривой T_1 и вогнутой кривой T_2 :

$$\Pi_i \geq (T_1 + T_2), \quad (2.3.21)$$

где T_2 – тангенс вогнутой кривой, определяется по формуле:

$$T_2 = 0,5 \cdot R_2 \cdot (i_1 - (\pm i_2)),$$

где R_2 – радиус вогнутой кривой ($R_2 = 8000\text{м}$);

i_1 – продольный уклон прямой Π_i по направлению от точки A_{n-1} к точке A_n ;

i_2 – уклон прямой, которая подходит к перелому A_{n-1} ;

Если условие (2.3.21) не выполнено, то следует уменьшить уклон i_1 и повторно выполнить расчет пикетного положения и отметок переломов A_n и A_{n-1} .

Если $\Pi_i \gg (T_1 + T_2)$, то для уменьшения объемов земляных работ на подходах к путепроводу следует увеличить уклон i_1 и повторно рассчитать положение и отметки переломов, проверить условие (2.3.21).

Пикетное положение и отметки переломов продольного профиля после путепровода (рис.2.3.3) выполняют по методике, рассмотренной выше.

2.3.2.2. Определение отметок промежуточных точек продольного профиля.

Отметки промежуточных точек на выпуклой кривой радиуса R_1 определяют по формуле:

$$H_m(n) = H_m(B) - \ell_n^2 / (2 R_1),$$

где $H_m(B)$ – отметка вершины выпуклой кривой;

ℓ_n – расстояние от вершины кривой до точки n .

Пикетное положение и отметка начала вогнутой кривой определяют по формулам:

$$PK_m(HK) = PK_m(A_{n-1}) - T_2; \quad H_m(HK) = H_m(A_{n-1}) - T_2 (\pm i_2).$$

Отметки промежуточных точек вогнутой кривой определяют, размещая начало координат в начале вогнутой кривой на пикете $PK_m(HK)$ с отметкой $H_m(HK)$:

$$H_m(n) = H_m(HK) \pm i_2 \cdot x + x^2 / (2R_2),$$

где x – расстояние от начала вогнутой кривой до промежуточной точки.

Далее составляют чертеж «Ломанный продольный профиль трассы верхней дороги» в масштабах 1:5000 и 1: 500. Он включает черный профиль верхней дороги, ломанный продольный профиль этой дороги. На подходах к путепроводу пикетное положение и отметки переломов обозначают в соответствии с ранее выполненными расчетами по схемам представленных на рисунках (2.3.1 и 2.3.3).

Чертеж «Продольный профиль верхней дороги» имеет состав, аналогичный составу чертежа «Продольный профиль нижней дороги».

2.4. Проектирование плана трассы левоповоротных соединительных ответвлений на транспортной развязке «клеверный лист».

На транспортной развязке, «клеверный лист» проектируют петлевые односторонние левоповоротные соединительные ответвления (ЛПО) по типу 1 или по типу 2 (рис.1.4).

План трассы левоповоротных соединительных ответвлений (ЛПО) по типу 1 включает две переходные кривые L и круговую кривую K_0 (рис. 2.4.1). План трассы ЛПО по типу 2 (рис. 2.4.4) состоит из двух закруглений малого радиуса и прямой вставки между ними.

Расчетная скорость движения автомобиля на ЛПО по типу 1 назначается равной 40км/ч. По ТКП 509 – 2014 этой скорости соответствует минимальный радиус круговой кривой 50м.

Расчетная скорость движения автомобиля на ЛПО по типу 2 принимается равной 40км/ч на отмыкании от дороги и 30 км/ч на примыкании. На примыкании допускается уменьшать радиус круговой кривой до 30м.

Длина переходной кривой принимается по таблице 6 ТКП 509 – 2014 равной 50м в случае круговой кривой радиуса 50м и равной 40м в случае круговой кривой радиуса 30м.

Основными параметрами закругления с переходной кривой является:

– угол переходной кривой β , вычисляется по формуле (2.4.1):

$$\beta = L / (2R) \cdot 180 / \pi, \text{ град} \quad (2.4.1)$$

– тангенс t переходной кривой и сдвигка p круговой кривой, которые определяются по формулам:

$$t = X_B - R \sin \beta; \quad (2.4.2)$$

$$p = Y_B - R (1 - \cos \beta). \quad (2.4.3)$$

В формулах (2.4.2) и (2.4.3) переменные X_B и Y_B являются координатами конца переходной кривой (точка B , рис.2.4.3.). Они определяются по формулам 2.4.4 и 2.4.5.:

$$X_B = L - L^3 / (40R^2); \quad (2.4.4)$$

$$Y_B = L^2 / (6R) - L^4 / (336R^3). \quad (2.4.5)$$

где L – длина переходной кривой, м;

R – радиус круговой кривой, м.

2.4.1. Проектирование плана трассы ЛПО по типу 1.

Трасса ЛПО по типу 1 проектируется по схеме $L + K_0 + L$. Длина круговой кривой K_0 вычисляется по формуле (2.4.6):

$$K_0 = R \cdot \varphi \cdot \pi / 180, \quad (2.4.6)$$

где φ – центральный угол (рис. 2.4.1), определяется по формуле:

$$\varphi = 180 + \alpha - 2\beta,$$

где α – угол пересечения осей дорог, градусы;

β – угол переходной кривой вычисляется по формуле (2.4.1).

Основными точками плана трассы ЛПО по типу 1 являются (рис. 2.4.1) начало (точка А) и конец ЛПО (точка А'), конец первой переходной кривой (точка В) и второй (точка В'), середина трассы ЛПО (точка СО).

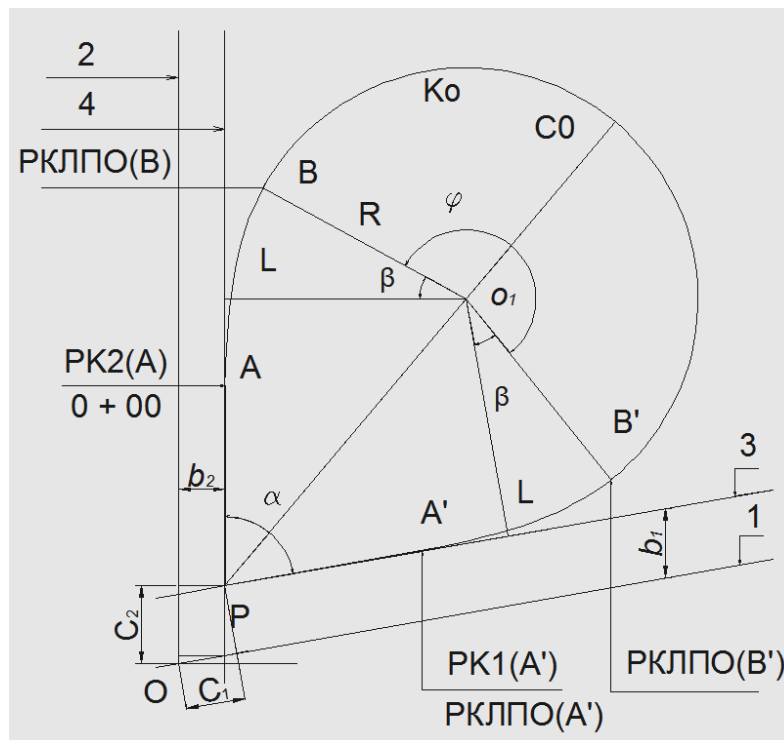


Рис. 2.4.1. Схема к определению пикетного положения основных точек ЛПО:
1,2 – оси пересекающихся дорог; 3,4 – оси переходно-скоростных полос.

Пикетное положение точек А, В, СО, В', А' на ЛПО по типу 1 определяют по формулам (рис.2.4.1):

$$\begin{aligned} \text{РК}_{\text{лпо}}(\text{А}) &= 0 + 00; \\ \text{РК}_{\text{лпо}}(\text{В}) &= L; \\ \text{РК}_{\text{лпо}}(\text{СО}) &= L + 0.5K_0; \\ \text{РК}_{\text{лпо}}(\text{В}') &= L + K_0; \\ \text{РК}_{\text{лпо}}(\text{А}') &= L + K_0 + L. \end{aligned}$$

Предварительно определяют **смещения C_1 и C_2** точки Р пересечения осей сопрягаемых полос 3 и 4 относительно точки О пересечения осей дорог 1 и 2 (рис.2.4.1), а также **расстояние РА** от точки Р до начала ЛПО.

Смещение C_1 точки Р (рис.2.4.1) относительно точки О вдоль дороги 1 определяют по формуле (2.4.7) и C_2 вдоль дороги 2 по формуле (2.4.8):

$$C_1 = b_2 / \sin\alpha + b_1 \text{ctg}\alpha; \quad (2.4.7)$$

$$C_2 = b_1 / \sin\alpha + b_2 \operatorname{ctg}\alpha, \quad (2.4.8)$$

где b_1, b_2 – расстояние от оси дороги 1, оси дороги 2 до оси ПСП (рис.2.4.2).

На транспортной развязке «клеверный лист» оси полос торможения и разгона пересекаются в четырех точках P_1, P_2, P_3 и P_4 . Схема смещения этих точек относительно точки O пересечения осей дорог приведена на рисунке 2.4.2.

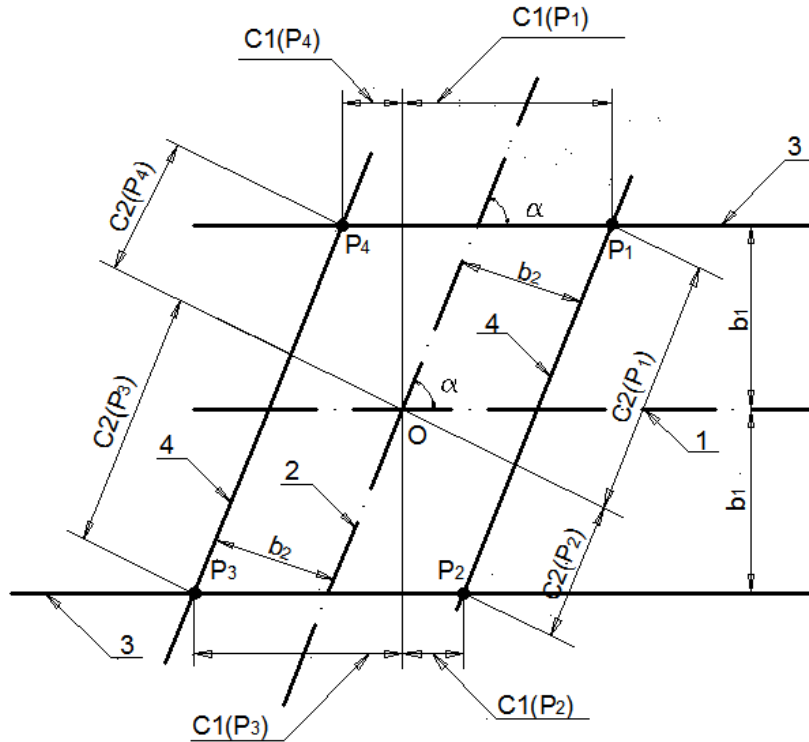


Рис.2.4.2. Схема смещения точек P_i пересечения осей ПСП относительно точки O пересечения осей дорог: 1, 2 – оси дорог; 3, 4 – оси ПСП.

Величины смещений $C_1(P_i)$ вычисляются по формуле (2.4.7), смещений $C_2(P_i)$ по формуле (2.4.8):

$$C_1(P_i) = b_2 / \sin\alpha + b_1 \operatorname{ctg}\alpha; \quad (2.4.7)$$

$$C_2(P_i) = b_1 / \sin\alpha + b_2 \operatorname{ctg}\alpha, \quad (2.4.8)$$

где b_1, b_2 – расстояние от оси дороги 1, оси дороги 2 до оси ПСП (рис.2.4.2).

В формулах (2.4.7, 2.4.8) угол пересечения осей переходно-скоростных полос (ПСП) принимается равным острому углу α для точек P_1, P_3 и углу $(180 - \alpha)$ для точек P_2, P_4 .

Результаты вычислений смещений $C_1(P_i)$ и $C_2(P_i)$ представляются в табличной форме (см. таб. 2.4.2).

Расстояние PA от точки пересечения осей 3 и 4 ПСП, сопрягаемых ЛПО, до начала плана трассы ЛПО определим из схемы (рис.2.4.3):

$$PA = Pn + nf - X_B; \quad PA = Pn + R \cdot \sin\beta - X_B. \quad (2.4.9)$$

Расстояние Pn является катетом прямоугольного треугольника PnO_1 , в котором известен только угол α . Второй катет этого треугольника nO_1 (рис. 2.4.3) определяется по формуле:

$$nO_1 = mO_1 + nm = R \cdot \cos\beta + Y_B.$$

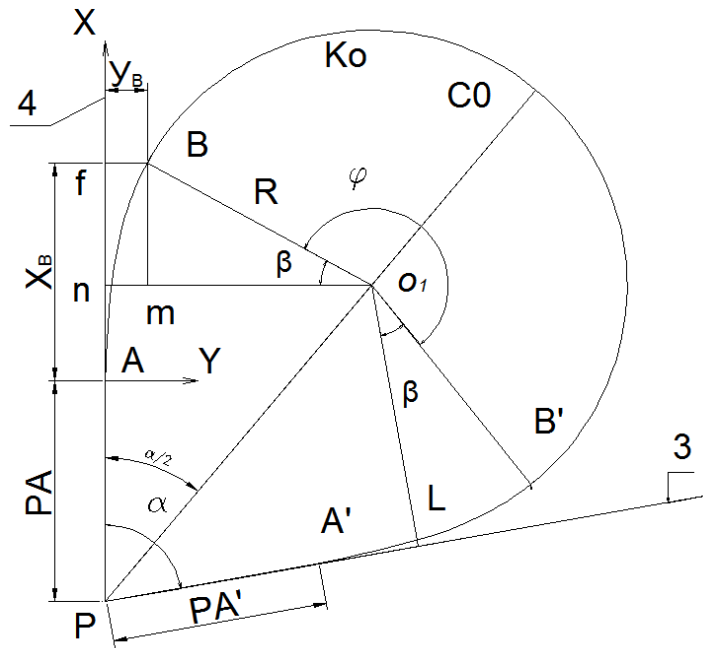


Рис. 2.4.3. Схема к определению величин PA и PO₁; 3,4 – оси переходно-скоростных полос (ПСП).

Величина катета Pn равна:

$$Pn = nO_1 \cdot \operatorname{ctg}(\alpha/2) = (R \cdot \cos\beta + Y_B) \cdot \operatorname{ctg}(\alpha/2) .$$

Подставим значение Pn в формулу (2.4.9):

$$PA = (R \cdot \cos\beta + Y_B) \operatorname{ctg}(\alpha/2) + R \cdot \sin\beta - X_B, \quad (2.4.10)$$

где X_B, Y_B – координаты конца переходной кривой, вычисляются по формулам (2.4.4) и (2.4.5).

Расстояние PO₁ (см. рис. 2.4.3) до центра круговой кривой определяется по формуле:

$$PO_1 = (R \cdot \cos\beta + Y_B) / \sin(\alpha/2), \quad (2.4.11)$$

На транспортной развязке «клеверный лист» проектируют 4 левоповоротных соединительных ответвления ЛПО1, ЛПО2, ЛПО3 и ЛПО4. Они начинаются в точках A_1, A_2, A_3, A_4 и заканчиваются в точках A'_1, A'_2, A'_3, A'_4 . Точки A_i и A'_i расположены на расстоянии $P_i A_i$ от точки P_i пересечения осей ПСП.

При симметричном расположении плана трассы ЛПО по типу 1 относительно биссектрисы угла пересечения дорог величина $P_i A'_i = P_i A_i$ (рис. 2.4.3). Также поэтому принимают $P_3 A_3 = P_1 A_1$ и $P_4 A_4 = P_2 A_2$. Величины $P_1 A_1$ и $P_2 A_2$ вычисляют по формуле (2.4.11). В формуле (2.4.11) угол пересечения осей дорог принимается равным острому углу α для точек P_1, P_3 и углу $(180 - \alpha)$ для точек P_2, P_4 .

Результаты вычислений **расстояний** $P_i A_i$ и $P_i A'_i$ на ЛПО по типу 1 рекомендуется оформлять в виде таблицы (см. таб. 2.4.3).

2.4.2. Проектирование плана трассы ЛПО по типу 2.

План трассы ЛПО по типу 2 включает закругления малого радиуса ABCD, A'B'C'D' и отрезок прямой П ($P \geq 0$) (рис.2.4.4).

Трасса ЛПО по типу 2 начинается в точке А на расстоянии PA от точки пересечения осей ПСП и заканчивается в точке А' на расстоянии PA'.

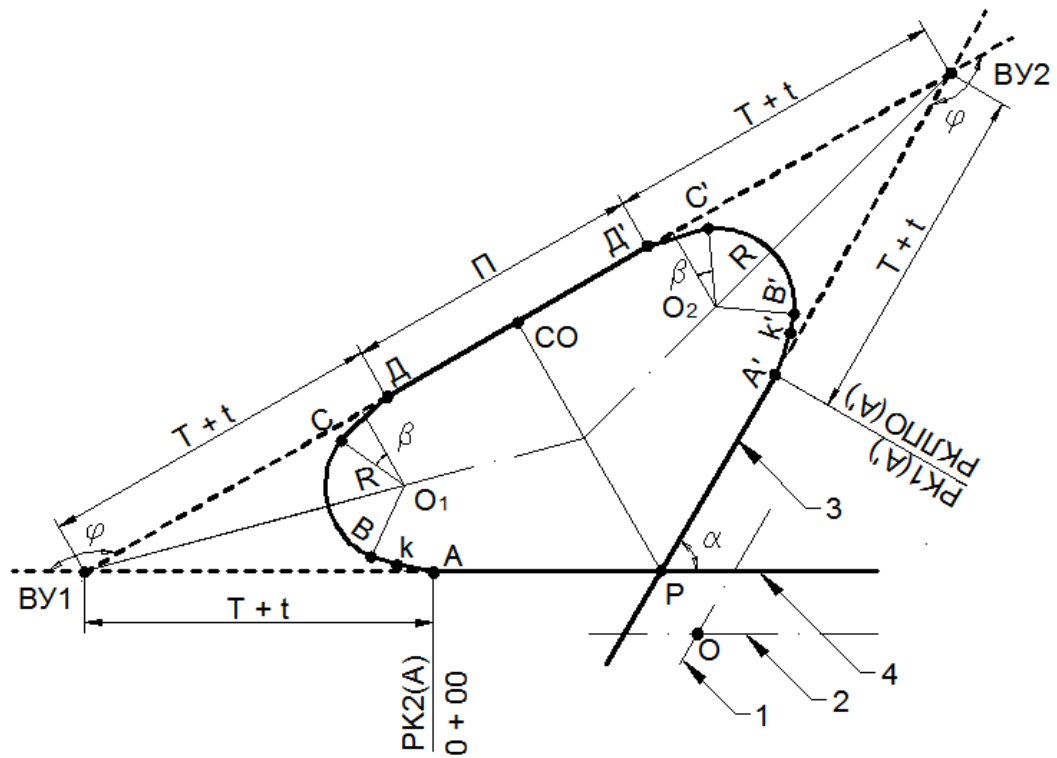


Рис.2.4.4. Схема к определению пикетного положения основных точек плана трассы ЛПО по типу 2:
1,2 – оси пересекающихся дорог; 3,4 – оси переходно-скоростных полос (ПСП).

Закругление на ВУ1 состоит из переходных кривых АВ и CD длиной L каждая, круговой кривой K_0 радиуса R . Угол поворота трассы ЛПО $\varphi = (180^\circ - \alpha)/2$. Угол β , тангенс t и сдвигку p переходной кривой вычисляют по формулам (2.4.1, 2.4.2 и 2.4.3). Тангенс T и длину K_0 круговой кривой определяют по (2.4.12).

$$T = (R + p) \cdot \operatorname{tg}(\varphi/2); \quad K_0 = \pi \cdot R(\varphi - 2\beta) / 180^\circ. \quad (2.4.12)$$

Домер закругления плана трассы ЛПО на ВУ1 равен:

$$D_m = 2(T + t) - (2L + K_0). \quad (2.4.13)$$

Закругление на ВУ 2 аналогично закруглению на ВУ1. Его элементы вычисляют по приведенным выше формулам.

Расстояние PA должно быть не менее минимальной длины PA_{\min} , при которой конец закругления на ВУ1 (рис.2.4.5, точка Д) совпадает с началом закругления на ВУ2.

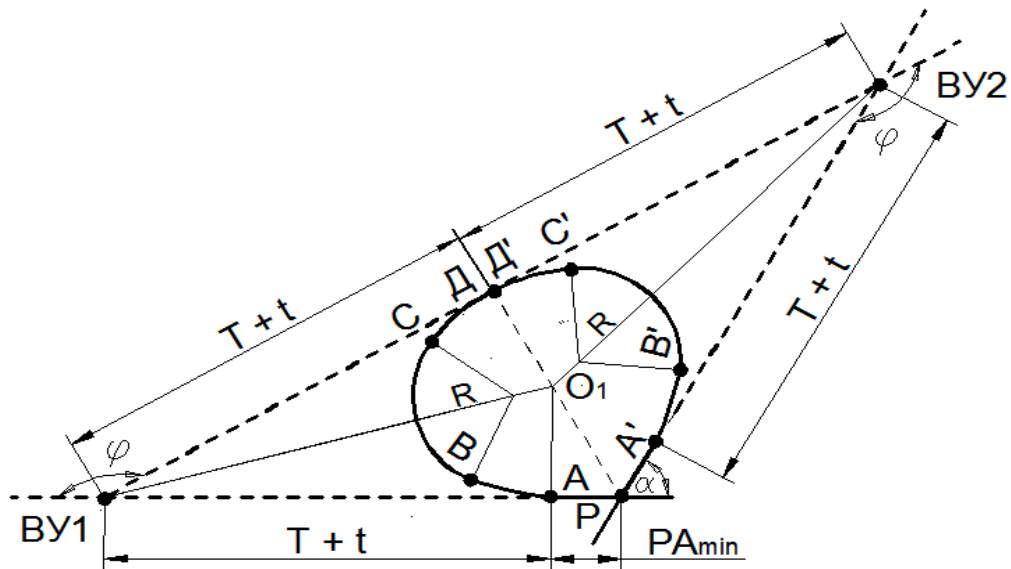


Рис.2.4.5. Схема плана трассы ЛПО по типу 2 без прямой вставки между закруглениями на ВУ1 и ВУ2.

Минимальное расстояние от Р до точек А и А' (рис. 2.4.5) определяется по формулам (2.4.14):

$$PA_{\min} = (T+t) \cdot \operatorname{tg}(\alpha/4) \cdot \operatorname{ctg}(90 - (\alpha/2)); \quad PA'_{\min} = PA_{\min}, \quad (2.4.14)$$

где Т, t – тангенсы круговой и переходной кривых на ВУ1 и на ВУ2;

α – острый угол пересечения осей дорог 1 и 2.

Если полученное по расчету расстояние РА меньше PA_{\min} , то принимаем $PA = PA_{\min}$.

Расстояние от точки Р пересечения осей ПСП до середины плана трассы ЛПО по типу 2 (рис.2.4.4) вычисляется по формуле.

$$PCO = (PA+T+t) \cdot (\sin(\alpha/2)). \quad (2.4.15)$$

Пикетное положение основных точек ЛПО по типу 2 (рис. 2.4.4) в пикетаже ЛПО определяются по формулам:

$$PK_{\text{ЛПО}}(A) = 0 + 00; \quad (2.4.16.1)$$

$$PK_{\text{ЛПО}}(B) = L; \quad (2.4.16.2)$$

$$PK_{\text{ЛПО}}(C) = L + K_0; \quad (2.4.16.3)$$

$$PK_{\text{ЛПО}}(D) = L + K_0 + L \quad (2.4.16.4)$$

$$PK_{\text{ЛПО}}(CO) = T + t + (PA + T + t) \cdot \sin(90 - \alpha/2) - D_M; \quad (2.4.16.5)$$

$$PK_{\text{ЛПО}}(A') = 2(PA + T + t) \cdot \sin(90 - \alpha/2) + 2(T + t) - 2D_M; \quad (2.4.16.6)$$

$$PK_{\text{ЛПО}}(B') = PK_{\text{ЛПО}}(A') - L; \quad (2.4.16.7)$$

$$PK_{\text{ЛПО}}(C') = PK_{\text{ЛПО}}(A') - L - K_0; \quad (2.4.16.8)$$

$$PK_{\text{ЛПО}}(D') = PK_{\text{ЛПО}}(A') - L - K_0 - L. \quad (2.4.16.9)$$

где L, K_0 , Т, t, D_M – длина переходной и круговой кривой, тангенсы круговой и переходной кривых, домер закругления на ВУ1 и ВУ2,

РА – расстояние от точки Р пересечения осей ПСП до начала (конца) ЛПО, определяемое по методике изложенной в §2.4.3.

2.4.3. Определение положения начала и конца плана трассы ЛПО по типу 2.

Положение начала (т. A_i) и конца (т. A'_i) ЛПО по типу 2 **назначается:**

- по условию размещения трассы ЛПО вне путепровода;
- по условию обеспечения требуемой длины участка переплетения потоков;
- по условию проектирования пересечения дорог категории I со сквозным распределительным проездом или без сквозного распределительного проезда.

2.4.3.1. Определение положения начала плана трассы ЛПО по условию расположения трассы ЛПО вне путепровода.

На транспортных развязках проектируют чаще всего путепроводы разрезной балочной системы. Длина путепровода принимается по оси дороги, проходящей в верхнем уровне (рис.2.4.6).

Расстояние от точки пересечения осей дорог 1 и 2 до начала и конца путепровода по оси ПСП соседних ЛПО вычисляется по формуле (2.4.17):

$$l_{mi} = 0,5 L_{\text{пут}} + b_m \cdot \text{ctg} \alpha_i, \quad (2.4.17)$$

где $L_{\text{пут}}$ – длина путепровода;

b_m – расстояние от оси дороги номер m , проходящей в верхнем уровне, до оси ПСП;

α_i – угол пресечения осей дорог.

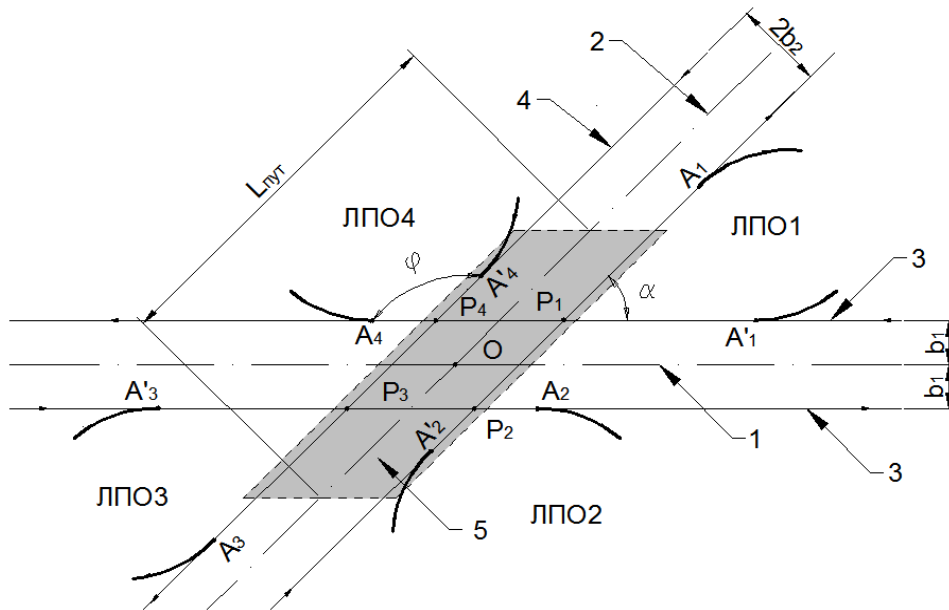


Рис. 2.4.6. Схема расположения начала и конца трассы ЛПО:

1,2 – оси пересекающихся дорог; 3,4 – оси переходно-скоростных полос (ПСП); 5 – путепровод.

Для размещения путепровода на прямом участке дороги необходимо, чтобы начало и конец путепровода располагались до начала ЛПО или после конца ЛПО.

Условия расположения трассы ЛПО вне путепровода приведены в формулах (2.4.18). Применительно к схеме, представленной на рисунке 2.4.6, эти условия имеют вид (2.4.18а) и (2.4.18б):

$$P_i A_i \geq (l_{ni} - C_m(P_i)); \quad (2.4.18)$$

$$P_1 A_1 \geq (l_{n1} - C_2(P_1)); \quad (2.4.18а)$$

$$P_2 A'_2 \geq (l_{n2} - C_2(P_2)), \quad (2.4.18б)$$

где $P_i A_i$ – расстояние от точки пересечения осей ПСП до начала (конца) трассы ЛПО, определяется по формуле (2.4.10);

l_{ni} – (см. (2.4.17));

$C_m(P_i)$ – расстояние от точки пересечения осей дорог 1 и 2 до точек P_i пересечения осей ПСП, определяется по формулам (2.4.7) и (2.4.8).

В формуле (2.4.18) индексы i соответствуют номеру ЛПО, индексы m соответствует номеру дороги, проходящей в верхнем уровне.

Условия (2.4.18) проверяют в двух соседних ЛПО по типу 1 (ЛПО1 и ЛПО2 или ЛПО3 и ЛПО4). При проверке условий (2.4.18) возможны следующие случаи.

Случай 1. Условия (2.4.18) выполнены на двух соседних ЛПО (рис.2.4.7.а).

Путепровод располагается вне трассы всех ЛПО по типу 1. Значение расстояний $P_i A_i$ ($i=1,2,3,4$), полученное ранее (таб.2.4.3) оставляют без изменения.

Определяют положение начала плана трассы ЛПО по условию размещения переходно-скоростной полосы на участке переплетения потоков (§2.4.3.2) или по условию проектирования пересечения дорог категории I со сквозным распределительным проездом или без него (§2.4.3.3).

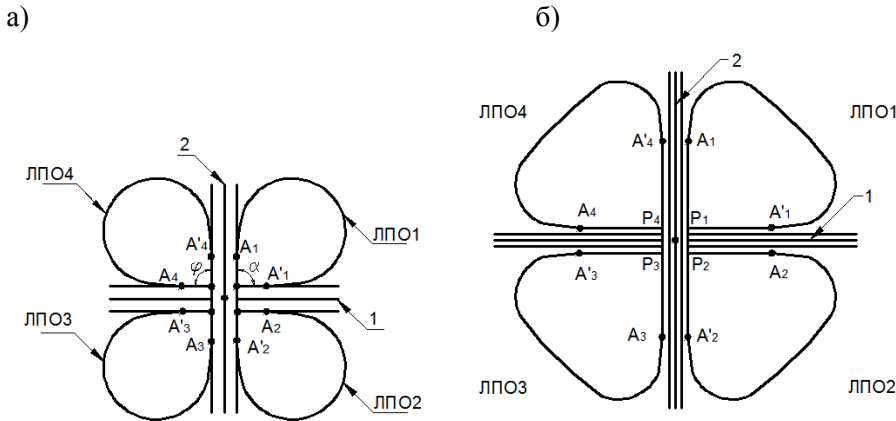


Рис.2.4.7. Схема трассы ЛПО: а) – по типу 1; б) – по типу 2.

Случай 2. Условия (2.4.18) не выполнено на соседних ЛПО по типу 1. План трассы всех ЛПО проектируют по типу 2 (рис.2.4.7.б) по методике, изложенной в §2.4.2.

Предварительно определяется положение начала и конца ЛПО по типу 2 по условию (2.4.18) размещения их в начале (конце) путепровода по формуле:

$$P_i A_i = l_{ni} - C_m(P_i);$$

где $P_i A_i, l_{ni}, C_m(P_i)$ – см. (2.4.18).

Определяют положение начала плана трассы ЛПО по условию размещения переходно-скоростной полосы на участке переплетения потоков (§2.4.3.2) или по условию проектирования пересечения дорог категории I со сквозным распределительным проездом или без него (§2.4.3.3).

Результаты вычислений $P_i A_i$ и $P_i A'_i$ рекомендуется оформлять в виде таблицы (см. таб. 2.4.3.).

Случай 3. Условие (2.4.18) выполнено на ЛПО1 и не выполнено на соседнем ЛПО2 (рис.2.4.8).

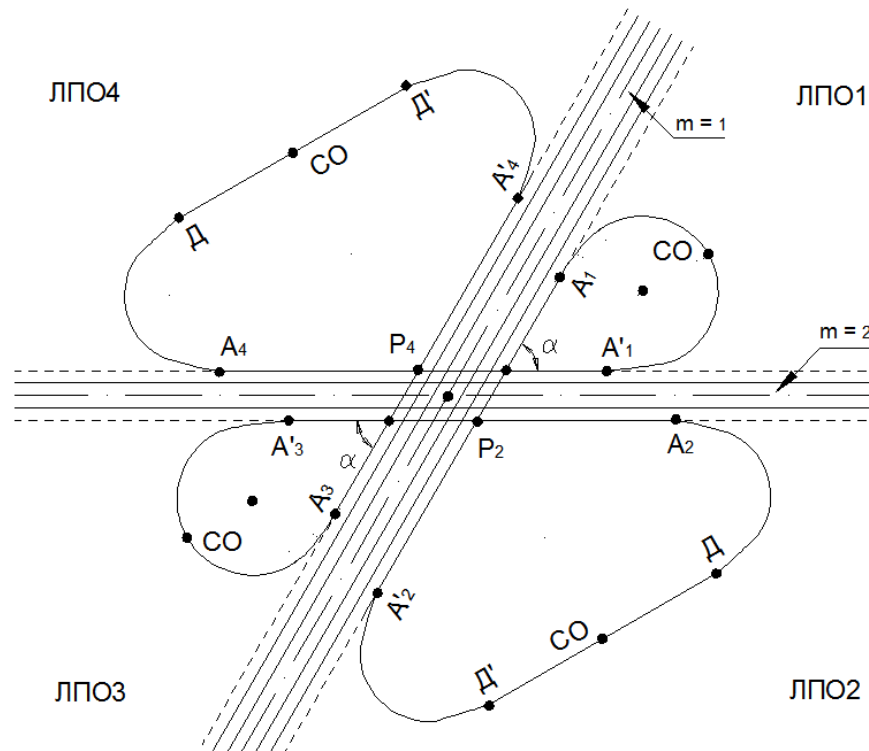


Рис.2.4.8. Схема плана трассы ЛПО1 и ЛПО3 по типу 1, ЛПО2 и ЛПО4 по типу 2: 1,2 – оси дорог 1 и 2.

План трассы ЛПО1 и ЛПО3 продолжают проектировать по методике для ЛПО по типу 1, изложенной в §2.4.1. Значение расстояний $P_i A_i$ ($i=1,3$), полученное ранее (таб.2.4.2) оставляют без изменения.

План трассы ЛПО2 и ЛПО4 проектируют по типу 2 по методике, изложенной в §2.4.2. Предварительно определяется положение начала и конца ЛПО2 и ЛПО4 по типу 2 по условию (2.4.18) размещения их в начале (конце) путепровода по формуле:

$$P_i A_i = l_{ni} - C_m(P_i),$$

где $P_i A_i$, l_{ni} , $C_m(P_i)$ – см. (2.4.18).

Полученное значение $P_i A_i$ сравнивают с PA_{\min} определенным по формуле (2.4.14) и принимают большее значение.

Определяют положение начала плана трассы ЛПО по условию размещения переходно-скоростной полосы на участке переплетения потоков (§2.4.3.2) или по условию проектирования пересечения дорог категории I со сквозным распределительным проездом или без него (§2.4.3.3).

Результаты вычислений $P_i A_i$ и $P_i A'_i$ рекомендуется оформлять в виде таблицы (см. таб. 2.4.3).

2.4.3.2. Определение положения начала и конца плана трассы ЛПО по условию обеспечения требуемой длины участка переплетения потоков.

На транспортной развязке «клеверный лист» на участке между двумя смежными ЛПО (рис.2.5.3) происходит переплетение потоков транспорта, выходящего с ЛПО1 и **примыкающего** к полосе основной проезжей части и потоков транспорта, **отмыкающего** от полосы основной проезжей части и въезжающего на ЛПО4. На каждой пересекающейся дороге имеются два участка переплетения (правый и левый). Если параметры ЛПО по типу 1 или по типу 2 одинаковы, то правый и левый участки переплетения на дороге 1 или на дороге 2 имеют одинаковую длину.

Длина участка переплетения S_n (рис.2.5.3) равна расстоянию между точками схождения кромок проезжих частей ЛПО и соседней полосы дороги или полосы сквозного распределительного проезда и точками расхождения этих кромок:

$$S_{nm} = X_n + S_{Am} + X_n, \quad (2.4.19)$$

где X_n , X_n – расстояние от конца или начала ЛПО до точек расхождения кромок проезжих частей ЛПО и соседней полосы или до точек схождения этих кромок определяется по формуле (2.5.9);

S_{Am} – расстояние между положением начала и конца смежных ЛПО на правой или на левой стороне дороги m ($m = 1, 2$).

На транспортной развязке «клеверный лист» полосы разгона и торможения объединяют в общую полосу на участке переплетения. Длина этой полосы должна быть достаточной для размещения переходно-скоростных полос.

$$S_{Am} \geq S_{pm}, \quad (2.4.20)$$

где S_{pm} – длина полосы разгона на дороге m ($m=1,2$), которая определяется по методике, изложенной в подразделе §2.5.1.

В случае, если расчетная скорость на ЛПО 40 км/ч и уклон продольного профиля на участке переплетения 15‰ длины полос торможения и разгона приведены в таблице 2.4.1.

Таблица 2.4.1.

Длина полос торможения и разгона в зоне ЛПО.

| Расчетная скорость на дороге, км/час | Длина полос в зоне ЛПО | |
|--------------------------------------|------------------------|---------|
| | Торможения | Разгона |
| 140 | 265 | 365 |
| 120 | 130 | 190 |
| 100 | 90 | 125 |
| 80 | 60 | 80 |

Рассмотрим пересечение дорог категории II и III с дорогой категории Ib, на которой сквозной распределительный проезд не предусмотрен (рис.2.4.8).

Расстояние между положением начала и конца смежных ЛПО на правой стороне дороги 1 вычислим по формуле (2.4.21) и на правой стороне дороги 2 вычислим по формуле (2.4.22):

$$S_{A1} = P_2 A'_2 + C_1(P_2) + C_1(P_1) + P_1 A_1; \quad (2.4.21)$$

$$S_{A2} = P_3 A'_3 + C_2(P_3) + C_2(P_2) + P_2 A_2. \quad (2.4.22)$$

Проверим условие (2.4.20) для дороги 1 и дороги 2.

Если условия выполняются для каждой дороги, то полученные ранее значения $P_i A_i$ (см. таблица 2.4.3 строка 2) остаются без изменений.

Если это условие не выполняется для дороги m , то примем $S_{Am} = S_{pm}$, а для второй дороги оставим ранее полученное.

Если это условие не выполняется для обеих дорог, то примем $S_{A1} = S_{p1}$ и $S_{A2} = S_{p2}$.

Параметры ЛПО1 и ЛПО3 по типу 1 оставим без изменения. Для ЛПО2 и ЛПО4 вычислим расстояние $P_2 A_2$ до начала ЛПО2 на дороге номер 2 и расстояние $P_2 A'_2$ до конца ЛПО2 на дороге номер 1.

$$P_2 A_2 = S_{p2} - (P_3 A'_3 + C_2(P_3) + C_2(P_2)); \quad (2.4.23)$$

$$P_2 A'_2 = S_{p1} - (C_1(P_2) + C_1(P_1) + P_1 A_1). \quad (2.4.24)$$

Примем $P_4 A_4 = P_2 A_2$ и $P_4 A'_4 = P_2 A'_2$.

Определяют положение начала плана трассы ЛПО по условию проектирования пересечения дорог категории I со сквозным распределительным проездом или без него (§2.4.3.3).

Далее вычисляем пикетные положения начала и конца ЛПО (формула 2.4.27).

В формуле (2.4.27) расстояние $P_i A'_i = P_i A_i$, если радиусы круговых кривых на ВУ1 и на ВУ2 одинаковы. Если на ВУ2 радиус R_2 меньше, чем на R_1 на ВУ1, то расстояние $P_i A'_i$ вычисляется по формуле:

$$P_i A'_i = P_i A_i + T + t - T' - t', \quad (2.4.25)$$

где $P_i A_i$ – см (2.4.23);

T, t, T', t' – тангенсы круговых и переходных кривых при радиусе R_1 и R_2 , определяются по формулам (2.4.12), (2.4.2).

2.4.3.3. Определение параметров ЛПО по типу 2 на пересечении дорог I категории.

По ТКП 509–2014 на транспортных развязках типа «клеверный лист» следует предусматривать устройство сквозных распределительных проездов в случаях:

- на дорогах I-а категории при отмыкании и (или) примыкании более двух соединительных ответвлений с одной стороны дороги;

- на дорогах I-а, I-б, I-в категории при длине участка переплетения потоков менее 250 м между точками расхождения кромок на соседних примыкающих и отмыкающих ЛПО;

- на дорогах I-а, I-б и I-в категории, если суммарная расчетная интенсивность на соседних примыкающих и отмыкающих ЛПО превышает 600 автомобилей в час.

Согласно приведенным выше условиям на дороге категории I-а на транспортной развязке «клеверный лист» предусматривают сквозной распределительный проезд независимо от длины участков переплетения потоков. На дорогах I-б и I-в категории необходимо проектировать сквозной распределительный проезд в случае, если полученная по формуле (2.4.19) длина полосы переплетения S_n менее 250 м (вариант 1), или увеличивать длину полосы переплетения потоков (вариант 2).

В случае варианта 2 необходимое расстояние от точки P_2 до конца ЛПО2 определяется по формуле (2.4.26):

$$P_2 A'_2 = 250 - X_n - X_{n'} - (C_1(P_2) + C_1(P_1) + P_1 A_1), \quad (2.4.26)$$

где $C_1(P_2), C_1(P_1)$ – смещение точек P_2 и P_1 относительно точки О по направлению дороги 1;

$P_1 A_1$ – расстояние от точки P_1 до точки A_1 ($P_1 A'_1 = P_3 A_3 = P_3 A'_3 = P_1 A_1$), вычисляется по формуле (2.4.10).

Пикетное положение начала и конца ЛПО2 и ЛПО4 при длине полосы переплетения потоков, равной 250 м вычислим по формулам (2.4.27).

2.4.4. Определение пикетного положения начала и конца ЛПО.

Пикетное положение начала трассы ЛПО (точки A_i) и **конца** трассы ЛПО (точки A'_i) в пикетаже дороги номер m ($m=1,2$) определяют по формулам:

$$PK_m(A_i) = PK_m(O) \pm (C_m(P_i) + P_i A_i); \quad (2.4.27.1)$$

$$PK_m(A'_i) = PK_m(O) \pm (C_m(P_i) + P_i A'_i), \quad (2.4.27.2)$$

где $PK_m(O)$ – пикетное положение на дороге номером m ($m = 1,2$) осей дороги 1 и дороги 2;

$C_m(P_i)$ – смещение точки P_i ($i=1,2,3,4$) пересечения осей ПСП (рис.2.4.2) относительно точки О пересечения осей дорог по направлению дороги номером m ($m = 1,2$), определяется по формулам (2.4.7) и (2.4.8);

$P_i A_i, P_i A'_i$ – расстояние от точки P_i до точки A_i (начало ЛПО) и до точки A'_i (конец ЛПО) определено ранее (см. таб. 2.4.3 примера П.2.4.1).

В формулах (2.4.27) знак «+» или «-» принимают в зависимости от направления пикетажа на дорогах номером m по отношению к точке O пересечения дорог.

Данные вычислений пикетного положения начала и конца ЛПО представляют в табличной форме (см. таб. 2.4.4).

Пример 2.4.1.

Исходные данные: Дорога 1 категории I–б пересекается с дорогой 2 категории II под углом $\alpha=60^\circ$. Точка O пересечения осей дорог 1 и 2 расположена на дороге 1 на пикете 50+00, на дороге 2 на пикете 10+00 (рис. 2.4.8).

Пикетаж увеличивается на дороге 1 по направлению от точки P_2 к точке P_1 , на дороге 2 по направлению от точки P_4 к точке P_1 (рис.2.4.8). На дороге 2 запроектирован путепровод длиной 76м.

На транспортной развязке дорога 1 проектируется без сквозного распределительного проезда.

Требуется определить пикетное положение начала и конца ЛПО.

Решение.

На дороге 1, проходящей в нижнем уровне, дорожное полотно включает разделительную полосу Z шириной 3,70м, двухполосные проезжие части в каждом направлении, переходно-скоростные полосы (ПСП) и обочины. Ширина полос движения равна 3,50м. На дороге 2 категории II дорожное полотно состоит из двухполосной проезжей части, двух ПСП и обочин.

Расстояния b_1 и b_2 от осей дорог 1 и 2 до осей ПСП:

$$b_1 = 3,70 / 2 + 2 \cdot 3,50 + 3,50 / 2 = 10,60\text{м};$$

$$b_2 = 3,50 + 3,50 / 2 = 5,25\text{м}.$$

Определим смещение точек P_i ($i=1,2,3,4$) относительно точки O пересечения осей дорог 1 и 2 (рис.2.4.2).

Величины смещений $C_1(P_i)$ вычислим по формуле (2.4.7), смещений $C_2(P_i)$ по формуле (6.4.8). В этих формулах угол α пересечения полос движения принимается равным 60° для точек P_1, P_3 , и 120° для точек P_2 и P_4 .

$$C_1(P_1) = 5,25 / \sin 60^\circ + 10,60 / \operatorname{tg} 60^\circ = 6,06 + 6,13 = 12,19\text{м};$$

$$C_2(P_1) = 10,60 / \sin 60^\circ + 5,25 / \operatorname{tg} 60^\circ = 12,24 + 3,03 = 15,27\text{м};$$

$$C_1(P_2) = 5,25 / \sin 120^\circ + 10,60 / \operatorname{tg} 120^\circ = 6,06 - 6,13 = -0,07\text{ м};$$

$$C_2(P_2) = 10,60 / \sin 120^\circ + 5,25 / \operatorname{tg} 120^\circ = 12,24 - 3,03 = 9,21\text{м};$$

Из рисунка 2.4.2 следует, что $C_1(P_3) = C_1(P_1)$, $C_2(P_3) = C_2(P_1)$, $C_1(P_4) = C_1(P_2)$ и $C_2(P_4) = C_2(P_2)$.

Результаты вычислений приведены в таблице 2.4.2.

Таблица 2.4.2.

| $C_i(P_i)$ | $C_1(P_1)$ | $C_2(P_1)$ | $C_1(P_2)$ | $C_2(P_2)$ | $C_1(P_3)$ | $C_2(P_3)$ | $C_1(P_4)$ | $C_2(P_4)$ |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Длина, м | 12,19 | 15,27 | -0,07 | 9,21 | 12,19 | 15,27 | -0,07 | 9,21 |

План трассы левоповоротных соединительных ответвлений ЛПО по типу 1 состоит из переходных кривых длиной $L=50\text{м}$ и круговой кривой радиуса $R=50\text{м}$. Координаты конца переходной кривой и величину угла β вычислим по формулам (2.4.4), (2.4.5) и (2.4.1). ($X_B=48,75\text{м}$, $Y_B=8,1\text{м}$, $\beta=28,66^\circ$).

Расстояние от точек P_i ($i=1,2$) до начала (точки A_i ($i=1,2$)) ЛПО i ($i=1,2$) вычислим по формуле (2.4.10), принимая угол $\alpha = 60^\circ$ для точек P_1 и угол $\alpha = 120^\circ$ для точек P_2 .

$$P_1A_1 = (50 \cdot \cos 28,66^\circ + 8,18) / \operatorname{tg} (60^\circ/2) + 50 \cdot \sin 28,66^\circ - 48,75 = 65,44\text{м}.$$

$$P_2A_2 = (50 \cdot \cos 28,66^\circ + 8,18) / \operatorname{tg} (120^\circ/2) + 50 \cdot \sin 28,66^\circ - 48,75 = 5,38\text{м}.$$

План трассы левоповоротных соединительных ответвлений ЛПО_i по типу 1 симметричен относительно угла пересечения сопрягаемых полос ЛПО. Поэтому $P_1A'_1 = P_1A_1$; $P_1A'_1 = P_1A_1$; $P_2A'_2 = P_2A_2$.

Запишем полученные значения P_1A_i и $P_iA'_i$ в виде таблицы 2.4.3 (строка 1).

Таблица 2.4.3.

| P_iA_i | $P_1A_1, м$ | $P_2A_2, м$ | $P_3A_3, м$ | $P_4A_4, м$ | $P_1A'_1, м$ | $P_2A'_2, м$ | $P_3A'_3, м$ | $P_4A'_4, м$ |
|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | 65,44 | 5,38 | 65,44 | 5,38 | 65,44 | 5,38 | 65,44 | 5,38 |
| 2 | 65,44 | 33,89 | 65,44 | 33,89 | 65,44 | 33,89 | 65,44 | 33,89 |
| 3 | 65,44 | 100,08 | 65,44 | 100,08 | 65,44 | 112,44 | 65,44 | 112,44 |
| 4 | 65,44 | 112,44 | 65,44 | 112,44 | 65,44 | 112,44 | 65,44 | 112,44 |

Примечание: строка 1 – значения P_iA_i для ЛПО по типу 1;
строка 2– значения P_iA_i для размещения ЛПО вне зоны путепровода;
строка 3– значения P_iA_i с учетом длины ПСП на участке переплетения;
строка 4– окончательные значения P_iA_i .

Проверим выполнения условия (2.4.18) размещения путепровода вне плана трассы ЛПО. Вычислим по формуле (2.4.17) расстояние от точки пересечения осей дорог 1 и 2 до начала и конца путепровода.

$$l_{п1} = 0,5 \cdot 76 + 5,25 / \operatorname{ctg}(60^\circ) = 41,03 \text{ м.}$$

$$l_{п2} = 0,5 \cdot 76 + 5,25 / \operatorname{ctg}(120^\circ) = 34,97 \text{ м.}$$

По заданию путепровод расположен на дороге 2. В формуле (2.4.18) принимаем индекс $m=2$. Рассмотрим соседние ЛПО1 и ЛПО2. Планы трассы ПСП пересекаются в соседних точках P_1 и P_2 . Значения $C_2(P_1)$, $C_2(P_2)$ и $P_1A'_1$, P_2A_2 приведены в таблицах 2.4.2 и 2.4.3. С учетом значений этих величин проверим условия (2.4.18) для ЛПО1 и ЛПО2.

$$\text{ЛПО1: } P_1A'_1 \geq l_{п1} - C_2(P_1); \quad 65,44 > (41,03 - 15,27);$$

$$\text{ЛПО2: } P_2A_2 \geq l_{п2} - C_2(P_2); \quad 5,38 < (34,97 - 9,21).$$

Таким образом, условия (2.4.18) выполнены на ЛПО1 и на ЛПО3 и не выполнены на ЛПО2 и ЛПО4. В связи с этим ЛПО2 и ЛПО4 проектируем по типу 2, а ЛПО1 и ЛПО3 продолжаем проектировать по типу 1.

Определяем минимальное расстояние от P_2 до точек A_2 и A'_2 :

$$P_2A_{2\min} = (T+t) \cdot \operatorname{tg}(\alpha/4) \cdot \operatorname{ctg}(90 - (\alpha/2)) = (194,30 + 24,78) \cdot \operatorname{tg}(60/4) \cdot \operatorname{ctg}(90 - (60/2)) = 33,89 \text{ м;}$$

Вычисляем расстояние до начала и конца ЛПО2 и ЛПО4, сравниваем его с минимальным и принимаем большее значение.

$$P_2A_2 = l_{п2} - C_2(P_2) = 34,97 - 9,21 = 25,76 \text{ м.}$$

$$\text{Принимаем } P_2A_2 = P_2A_{2\min} = 33,89 \text{ м}$$

$$P_4A_4 = P_4A'_4 = P_2A_2; \quad P_2A'_2 = P_2A_2.$$

Полученные данные запишем в таблицу 2.4.3 (строка 2).

Вычислим длины участков переплетения на дороге номером $m=1$ и на дороге $m=2$ по формулам (2.4.21 и 2.4.22).

$$S_{a1} = 65,44 + 12,19 - 0,07 + 33,89 = 111,45 \text{ м.}$$

$$S_{a2} = 33,89 + 9,21 + 15,27 + 65,44 = 123,81 \text{ м.}$$

Длина полосы разгона для дорог I–б и II категории равна 190м (таб. 2.4.1). Условия (2.4.20) не выполняются. Увеличим расстояния до начала и конца ЛПО2 и ЛПО4, приняв $S_{p1}=190\text{м}$; $S_{p2}=190\text{м}$.

$$P_2A'_2 = 190 - (65,44 + 12,19 - 0,07) = 112,44\text{м};$$

$$P_2A_2 = 190 - (65,44 + 9,21 + 15,27) = 100,08\text{м}.$$

Полученные данные запишем в таблицу (2.4.3) (строка 3).

Для того чтобы ЛПО по типу 2 было симметричным относительно биссектрисы угла пересечения трасс ПСП, необходимо принять одинаковые расстояния $P_iA_i = P_iA'_i$.

$$\text{Примем } P_2A_2 = P_2A'_2 \text{ и } P_4A_4 = P_4A'_4.$$

Полученные данные запишем в таблицу (2.4.3) (строка 4).

Вычислим пикетное положение начала ЛПО_i (точки A_i) и конца ЛПО_i (точки A'_i) по формуле (2.4.17).

В исходных данных примера (2.4.1) принято направление пикетажа на дороге 1 от точки P_2 к точке P_1 , на дороге 2 от точки P_4 к точке P_1 . В связи с этим в формулах (2.4.17) знак «+» принимается для точек A_1 , A'_4 на дороге 1 и точек A'_1 , A_2 на дороге 2, знак «-» для точек A_3 , A'_2 на дороге 1 и точек A_4 , A'_3 на дороге 2 (рис.2.4.8).

$$PK1(A_1) = 50+00 + (12,19 + 65,44) = 50+77,63$$

$$PK2(A_2) = 10+00 + (9,21 + 112,44) = 11+21,65$$

$$PK1(A_3) = 50+00 - (12,19 + 65,44) = 49+22,37$$

$$PK2(A_4) = 10+00 - (9,21 + 112,44) = 8+78,35$$

$$PK2(A'_1) = 10+00 + (15,27 + 65,44) = 10+80,71$$

$$PK1(A'_2) = 50+00 - (-0,07 + 112,44) = 48+87,63$$

$$PK2(A'_3) = 10+00 - (15,27 + 65,44) = 9+19,29$$

$$PK1(A'_4) = 50+00 + (-0,07 + 112,44) = 51+12,37$$

Таблица 2.4.4.

| Наименование | ЛПО1 | | ЛПО2 | | ЛПО3 | | ЛПО4 | |
|---------------------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|----------|
| | A_1 | A'_1 | A_2 | A'_2 | A_3 | A'_3 | A_4 | A'_4 |
| Номер дороги | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 |
| $PK_m(A); PK_m(A')$ | 50+77,63 | 10+80,71 | 11+21,65 | 48+87,63 | 49+22,37 | 9+19,29 | 8+78,35 | 51+12,37 |

2.5. Дорожное полотно левоповоротных соединительных ответвлений ЛПО и пересекающихся дорог.

Трасса ЛПО соединяет дорожное полотно пересекающихся дорог и левоповоротного соединительного ответвления на **участке переплетения** потоков. На этом участке происходит изменение скорости и направления движения транспортного потока. Каждое ЛПО начинается с конца полосы торможения и заканчивается началом полосы разгона.

2.5.1. Определение длины полос торможения и разгона.

Длины полос торможения и разгона определяют по ТКП 45 – 3.03.19 – 2006 следующим образом. По расчетной скорости движения для дороги данной категории назначают скорости движения в начале полосы торможения и в конце полосы разгона (таблица 2.5.1). Эти полосы называют переходно-скоростными (ПСП).

Таблица 2.5.1.

Скорость движения на переходно-скоростных полосах (ПСП)

| Расчетная скорость для категории дороги, км/час | Скорость движения, км/час | |
|---|----------------------------|------------------------|
| | в начале полосы торможения | в конце полосы разгона |
| 140 | 110 | 100 |
| 120 | 90 | 80 |
| 100 | 80 | 70 |
| 80 | 70 | 60 |

Длину полос торможения и разгона определяют по графику (рис. 2.5.1), в зависимости от разности скоростей движения автомобиля на ответвлении и в начале полосы торможения или в конце полосы разгона.

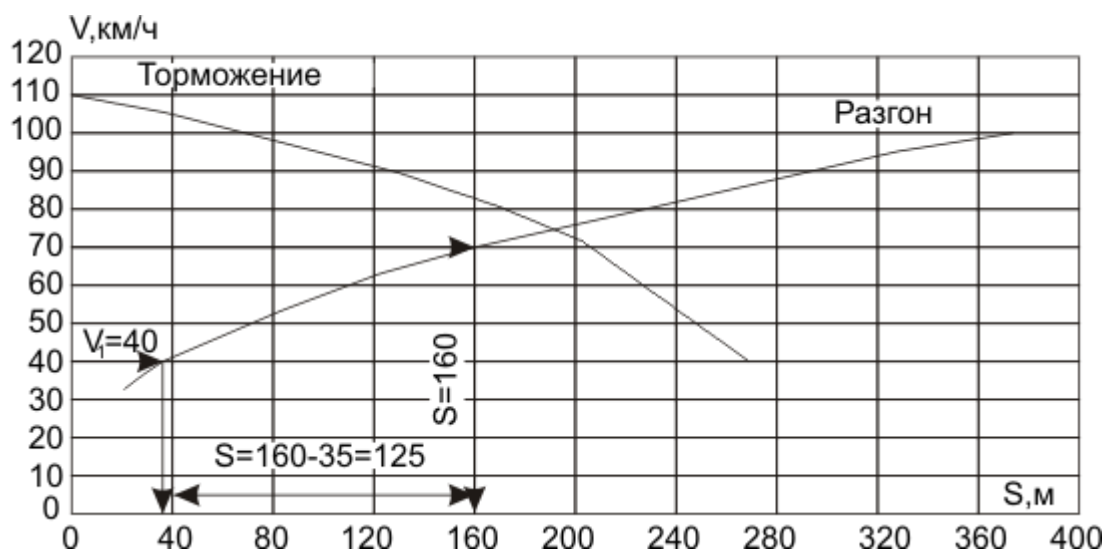


Рис. 2.5.1. График для определения длин полос торможения и разгона

В случае, если на дороге I категории предусмотрен сквозной распределительный проезд, то расчетная скорость движения на проезде принимается равной 80 км/час.

В случае расположения полосы разгона на участке с продольным уклоном, превышающим 15%, значение ее длины, определенной по графику 2.5.1, следует умножить на поправочный коэффициент K , определяемый по формулам (2.5.1) для подъема и (2.5.2) для спуска:

$$K = 0,88 + 8i; \quad (2.5.1)$$

$$K = 1,09 - 6i, \quad (2.5.2)$$

где i – уклон продольного профиля дороги в долях единицы.

Минимальная длина полос торможения и разгона 50 м.

Длину отгона полос торможения и разгона следует принимать по таблице 2.5.2.

Таблица 2.5.2.

Длина отгона полос торможения и разгона.

| Расчетная скорость, км/ч | Длина отгона полос, м | |
|--------------------------|-----------------------|---------|
| | торможения | разгона |
| 140, | 50 | 80 |
| 120, 100 | 30 | 60 |
| 80 | 30 | 30 |

2.5.2. Схемы сопряжения ЛПО, ПСП и участков переплетения потоков.

Переходно-скоростные полосы в зоне ЛПО объединяются в одну общую полосу (рис. 2.5.2.)

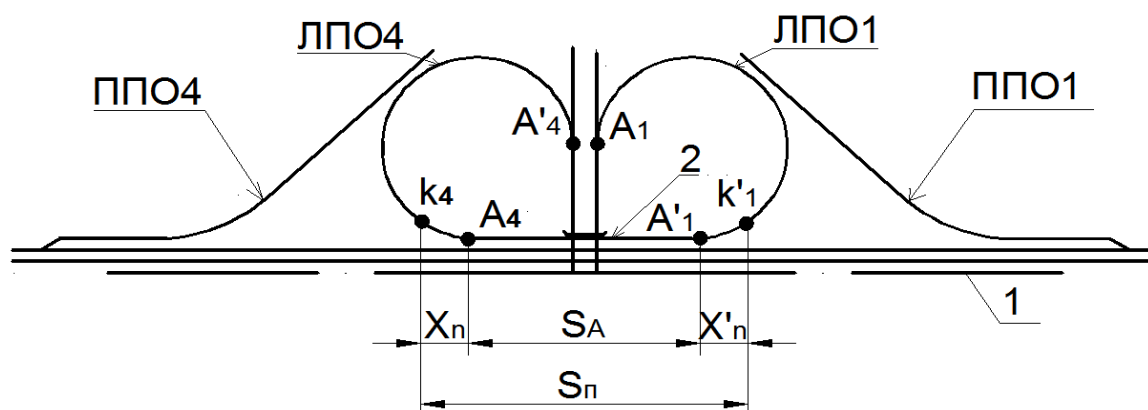


Рис.2.5.2. Сопряжения трассы ЛПО1, ЛПО4 и полосы переплетения по схеме I: 1,2 – ось дороги и полосы переплетения.

Транспортный поток с ЛПО1 (рис.2.5.2) въезжает на полосу разгона, увеличивает скорость и въезжает на главную проезжую часть. Этот маневр называют **въездом** на главную дорогу или **примыканием** к главной проезжей части. Для **отмыкания** от главной проезжей части движущийся по ней транспортный поток переходит на полосу торможения, уменьшает скорость и выезжает с проезжей части дороги на ЛПО4. Этот маневр называют **выездом** с главной дороги или **отмыканием** от главной проезжей части.

Для повышения безопасности движения в зоне переплетения потоков в зарубежных нормах проектирования полных транспортных развязок обязательным является требование «**въезд** на главную дорогу должен **предшествовать выезду** с главной дороги». По терминологии ТКП 509 – 2014 это требование имеет вид «**примыкание** к главной дороге должно **предшествовать отмыканию** от главной дороги». Этому требованию соответствует схема I сопряжения ЛПО и ПСП, представленная на рисунках 2.5.2, 2.5.3. По схеме I трасса **примыкания** к соседней полосе 2 (рис. 2.5.3) начинается в точке **k'** на оси 3 ЛПО1, а трасса **отмыкания** от полосы 1 заканчивается в точке **k** на оси ЛПО4.

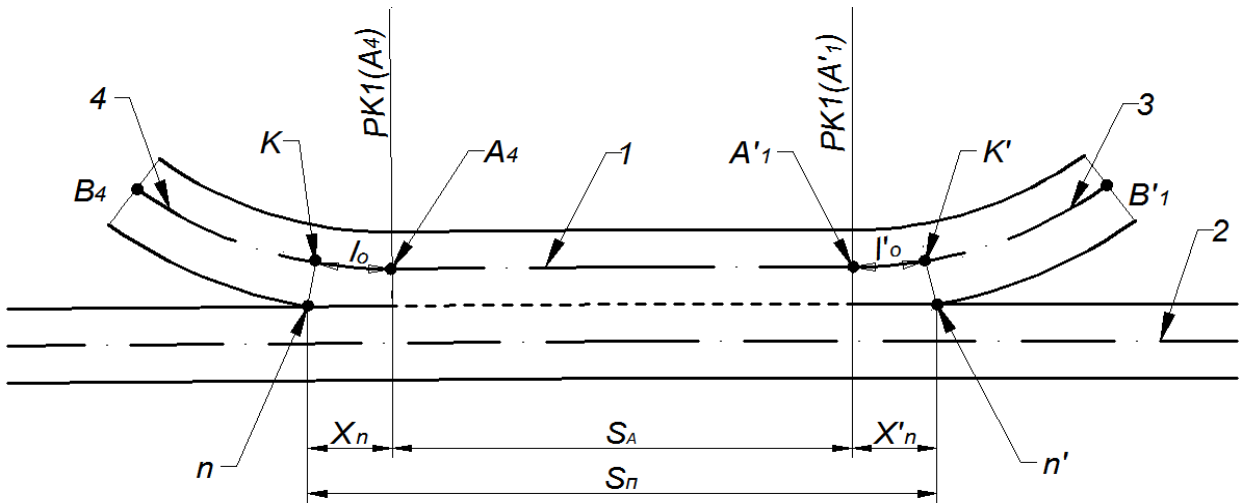


Рис.2.5.3. Фрагмент дорожного полотна на участке переплетения потоков по схеме I: 1 – ось ПСП; 2 – ось крайней полосы проезжей части дороги или сквозного распределительного проезда; 3,4 – оси ЛПО1 и ЛПО4

На транспортной развязке «клеверный лист» с каждой стороны проезжей части расположены участки переплетения потоков (рис.2.5.3). Длина участка переплетения потоков равна разности пикетных положений точек разделения кромок проезжей части ЛПО и соседней полосы. Она определяется по формуле (2.4.19).

Применение схемы I сопряжения ЛПО и полосы переплетения, представленной на рисунках 2.5.2 и 2.5.3 рекомендуется, если длина полосы переплетения S_{Π} не менее длины полосы торможения S_T и не менее длины полосы разгона S_p .

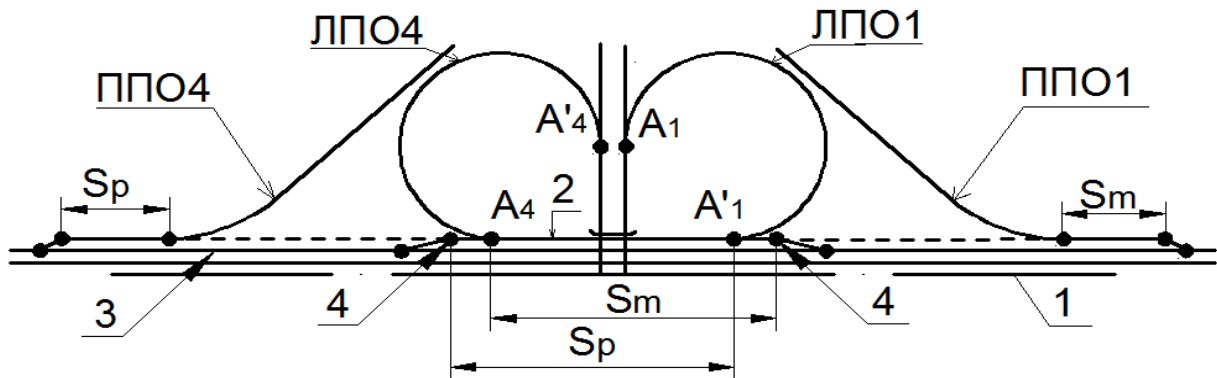


Рис.2.5.4. Фрагмент плана трассы транспортной развязки на участке переплетения потоков по схеме II: 1 – ось дороги; 2 – ось ПСП; 3 – ось крайней полосы главной проезжей части; 4 – начало (конец) ПСП.

Если $S_T > S_{\Pi}$, то отмыкание от полосы 2 дороги (рис.2.5.5) начинается в точке 4 («начало полосы торможения»). Примыкание к полосе 2 начинается в точке n' (рис. 2.5.5). Так как отмыкание начинается раньше чем примыкание, то не соблюдается принцип их очередности («сначала примыкание потом отмыкание»). Поэтому схема II дорожного полотна на отмыкании от проезжей части дороги или сквозного распределительного проезда не рекомендуется.

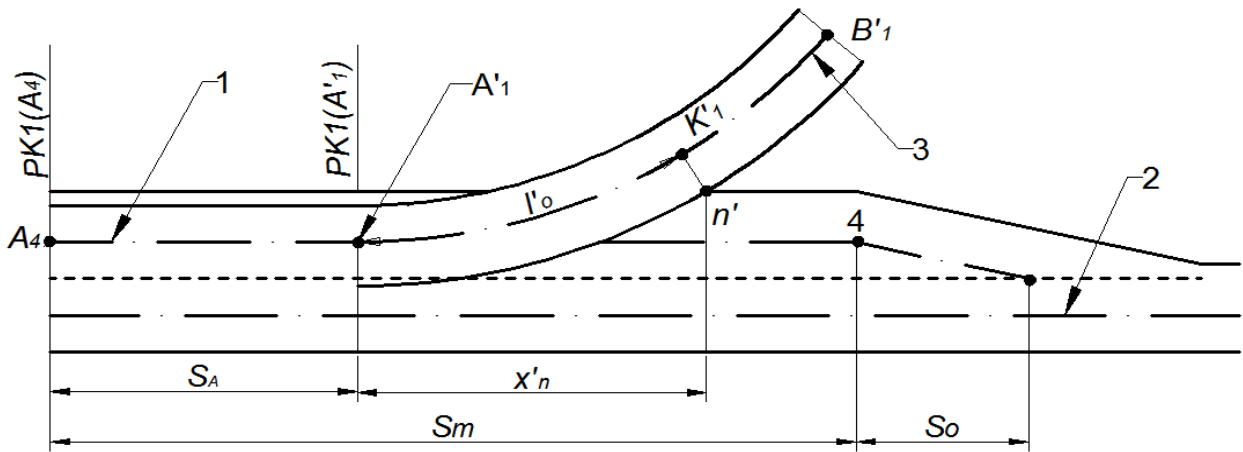


Рис. 2.5.5: Фрагмент дорожного полотна на отмыкании от основной проезжей части или от сквозного распределительного проезда по схеме II-а: 1 – ось ПСП; 2 – ось крайней полосы движения основной проезжей части или сквозного распределительного проезда; 3 – ось ЛПО1.

Если $S_p > S_n$, то примыкание начинается в точке K_1' и заканчивается в точке 5. Отмыкание начинается в точке K_4 и в точке n (рис.2.5.6).

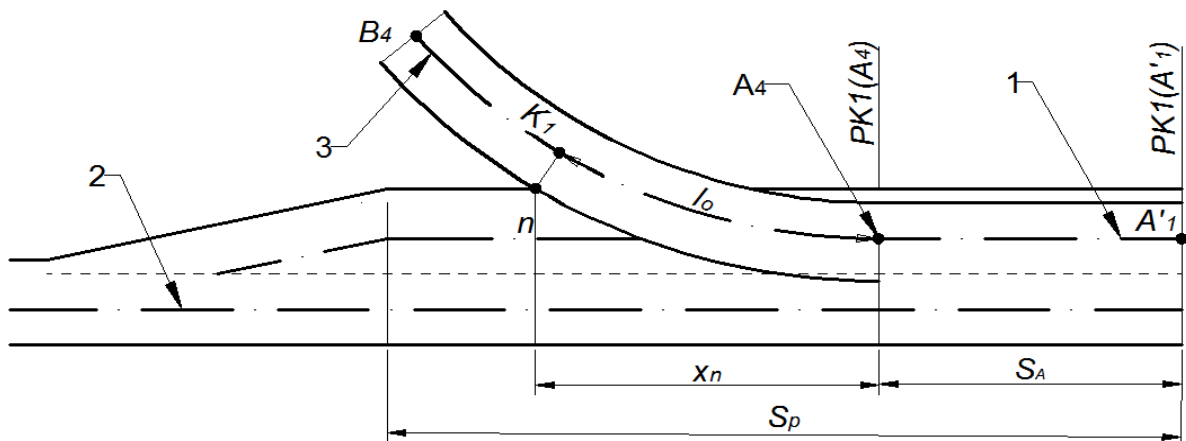


Рис. 2.5.6. Фрагмент дорожного полотна на примыкании к основной проезжей части или сквозного распределительного проезда по схеме II-б: 1 – ось ПСП; 2 – ось крайней полосы движения основной проезжей части или сквозного распределительного проезда; 3 – ось ЛПО4.

В связи с изложенным выше, на транспортной развязке «клеверный лист» на участке переплетения, следует назначать дорожное полотно по схеме I, приведенной на рисунках 2.5.2, 2.5.3. Допускается применять схему II-б, приведенную на рисунке 2.5.6.

2.5.3. Дорожное полотно на сопряжении ЛПО и ПСП.

Дорожное полотно на сопряжении ЛПО и ПСП включает участки отмыкания в начале ЛПО и участки примыкания в конце ЛПО.

2.5.3.1. Дорожное полотно на отмыкании ЛПО от ПСП.

На отмыкании ЛПО к поперечному сечению, проходящему через точку А, подходят две полосы (ПСП и полоса основной проезжей части или распределительного проезда) шириной b каждая. Ось ПСП заканчивается в точке А. Продолжением её является ось 1 ЛПО (рис. 2.5.7).

Расхождение внешней кромки проезжей части ЛПО и кромки соседней полосы главной проезжей части или полосы сквозного распределительного проезда происходит в точке **n** (рис. 2.5.7). В поперечном сечении, проведенном через точку **n** перпендикулярно оси ЛПО, имеется точка **k**.

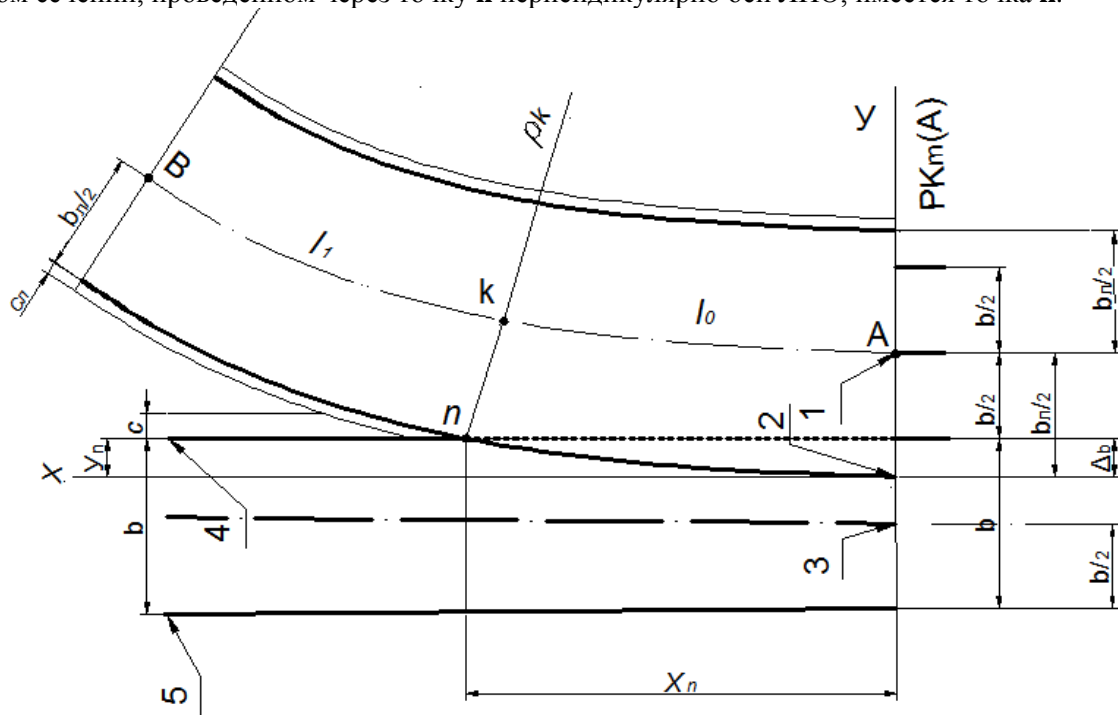


Рис. 2.5.7. Схема сопряжения конца ПСП и начала ЛПО: 1 – ось ЛПО и ПСП; 2 – внешняя кромка проезжей части ЛПО; 3,4,5 – ось и кромки крайней полосы основной проезжей части или распределительного проезда.

На отмыкании трасса ЛПО состоит из двух участков длиной l_0 и l_1 (рис. 2.5.7).

Первый участок трассы начинается в точке **A** (начало переходной кривой) и заканчивается в точке **k**.

На первом участке длиной l_0 поперечный уклон покрытия ЛПО принимают постоянным равным i_n .

На втором участке трассы ЛПО длиной l_1 происходит отгон поперечного уклона от i_n до уклона виража i_v .

Вычислим положение точки **n**.

Ось 3 крайней полосы находится на расстоянии ширины полосы **b** от оси ПСП.

Пусть ось X декартовой системы координат является касательной к внешней кромке проезжей части ЛПО в точке **A** (точка 2, рис.2.5.7).

Уравнение внешней кромки проезжей части ЛПО аналогично уравнению оси ЛПО и является уравнением *клотоиды*:

$$\rho_{кр} = (R_{кр} \cdot L_{кр}) / S_{кр}, \quad (2.5.3)$$

где $R_{кр}$ – радиус оси внешней кромки проезжей части ЛПО в конце переходной кривой длиной $L_{кр}$, определяется по формуле (2.5.4);

$S_{кр}$ – расстояние от начала кромки до рассматриваемой точки.

$$R_{кр} = R + 0,5b_{л}. \quad (2.5.4)$$

Длина переходной кривой по кромке проезжей части ЛПО вычисляется из условия одинаковой величины угла β переходных кривых, описывающих кромки проезжей части и ось ЛПО:

$$\beta = 0,5L_{кр} / R_{кр}; \quad (2.5.5)$$

$$L_{кр} = LR_{кр} / R. \quad (2.5.6)$$

Точка **n** расхождения кромок проезжих частей ЛПО и соседней полосы находится на расстоянии l_n от начала внешней кромки проезжей части ЛПО:

$$\ell_n = \sqrt[3]{6R_{кр}L_{кр}Y_n}, \quad (2.5.7)$$

где Y_n – отклонение точки n (рис. 2.5.7) от оси X вычисляется по формуле:

$$Y_n = (b_n - b)/2, \quad (2.5.8)$$

где b_n, b – ширина проезжей части ЛПО и полосы переплетения.

Координата точки n :

$$X_n = \ell_n - \ell_n^5 / (40(R_{кр}L_{кр})^2). \quad (2.5.9)$$

Точке n расхождения кромок проезжих частей ЛПО и соседней полосы соответствует точка k на оси ЛПО, находящаяся на расстоянии l_o от начала переходной кривой, т.е. от точки A .

Внешняя кромка проезжей части ЛПО и ось ЛПО в точках n и k имеют одинаковые углы касательной к этим точкам, т.е. $\beta_n = \beta_k$:

$$\beta_n = 0,5\ell_n / \rho_n; \quad \beta_k = 0,5\ell_o / \rho_k. \quad (2.5.10)$$

Из выражений (2.5.10) получим расстояние от начала трассы переходной кривой (точка A , рис.2.5.7) до точки k :

$$\ell_o = \ell_n \cdot \rho_k / \rho_n, \quad (2.5.11)$$

где ℓ_n – см. (2.5.7);

ρ_k, ρ_n , – радиус кривизны в точках k и n вычисляются по формулам:

$$\rho_n = R_{кр} \cdot L_{кр} / \ell_n; \quad (2.5.12)$$

$$\rho_k = \rho_n - (0,5 \cdot b_n). \quad (2.5.13)$$

Пикетное положение точки n на дороге m (рис. 2.5.7) вычислим по формуле (2.5.14).

$$PK_m(n) = PK_m(A) \pm X_n, \quad (2.5.14)$$

где $m = 1,2$ – номер дороги;

$PK_m(A)$ – пикетное положение начала ЛПО (точки A) на дороге m .

Знак «+» или «-» зависит от направления пикетажа на дороге m .

Пикетное положение точки k на ЛПО определим по формуле:

$$PK_{ЛПО}(k) = l_o. \quad (2.5.15)$$

2.5.3.2. Дорожное полотно на примыкании ЛПО к ПСП.

Пусть ось ЛПО (рис. 2.5.8) заканчивается в точке A' , являющейся началом ПСП.

Положение контрольной точки k' находится на переходной кривой $A'B'$ на расстоянии ℓ'_o от конца переходной кривой (рис. 2.5.8).

Схема сопряжения конца ЛПО и начала ПСП (рис. 2.5.8) является зеркальным отображением схемы сопряжения начала ЛПО и конца ПСП, представленной на рисунке 2.5.7. Отличие состоит в индексах обозначений точек и размеров. В связи с этим величины x'_n и ℓ'_o определяются по методике, изложенной в § 2.5.3.1.

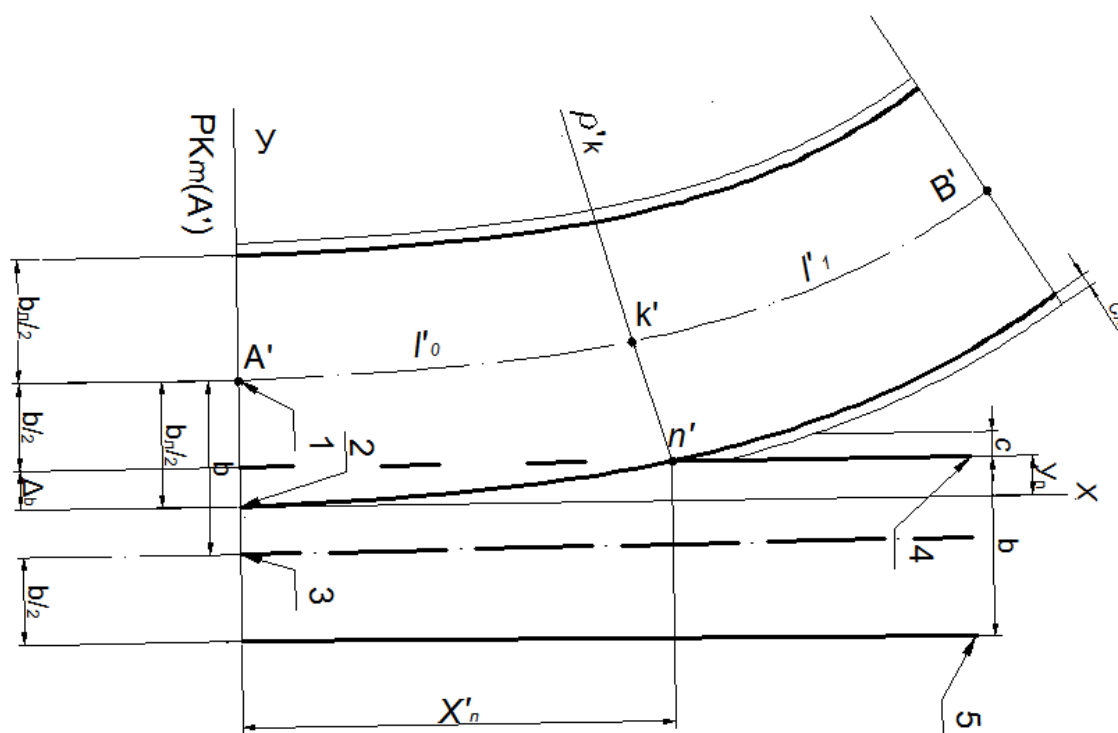


Рис. 2.5.8. Схема сопряжения конца ЛПО и начала ПСП: 1 – ось ЛПО; 2 – внешняя кромка проезжей части ЛПО; 3,4,5 – ось и кромки полос движения или распределительного проезда.

Пикетное положение точки n' на дороге номером m ($m = 1,2$) вычислим по (2.5.16), пикетное положение точки k' на ЛПО по (2.5.17):

$$PK_m(n') = PK_m(A') \pm X_n; \quad (2.5.16)$$

$$PK_{\text{ЛПО}}(k') = PK_{\text{ЛПО}}(A') - l_0. \quad (2.5.17)$$

Данные вычислений пикетного положения точек n , n' и k , k' представляют в таблице 2.6.2.

2.6. Проектирование продольного профиля ЛПО.

По ТКП 509–2014 расчетная скорость движения на ЛПО 40 км/час.

ТКП 509–2014 рекомендует принимать *продольный уклон* ЛПО не более 50‰. В стесненных условиях допускается принимать уклон не более 60‰ на подъеме и не более 70‰ на спуске. Кроме того, в зоне примыкания ЛПО на спуске продольный уклон трассы ЛПО не должен превышать 40‰ на расстоянии видимости для остановки S_1 . Это расстояние отсчитывается от точки K' по направлению к началу трассы ЛПО.

Минимальные радиусы вертикальных кривых назначаются по расчетной скорости движения (таблица 2.6.1).

Таблица 2.6.1.

| Наименование геометрического параметра | Значение геометрического параметра при расчетной скорости, км/час. | | | | | |
|--|--|------|------|------|------|------|
| | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 |
| Радиус кривизны в плане, м | 30 | 50 | 80 | 120 | 150 | 200 |
| Радиус выпуклой вертикальной кривой, м | 500 | 1000 | 1500 | 2000 | 3000 | 4000 |

| | | | | | | |
|--|-----|-----|-----|------|------|------|
| Радиус вогнутой вертикальной кривой, м | 250 | 500 | 750 | 1000 | 1500 | 2000 |
| Расстояние видимости для остановки, м | 25 | 30 | 40 | 60 | 85 | 100 |

Продольный профиль трассы ЛПО проектируют на протяжении ЛПО от точки k в зоне отмыкания от дороги до точки k' в зоне примыкания. На остальной части трассы ЛПО продольный профиль трассы ЛПО аналогичен продольным профилям пересекающихся дорог. В связи с этим точки k и k' являются *контрольными*.

2.6.1. Определение отметок и уклонов продольного профиля в контрольных точках

На продольном профиле трассы ЛПО находятся две контрольные точки. Первая контрольная точка k расположена на отмыкании ЛПО от ПСП дороги m ($m = 1,2$), вторая точка k' на примыкании к ПСП дороги m ($m = 1,2$) (рис.2.5.3).

Контрольная точка продольного профиля характеризуется пикетным положением на ЛПО, высотной отметкой и продольным уклоном.

Параметры контрольных точек k и k' вычислим в такой последовательности.

По формулам (2.5.14) и (2.5.16) определим пикетное положение точек расхождения или схождения кромок проезжих частей ЛПО и соседней полосы дороги точек. Этим точкам на продольном профиле дороги соответствуют точки n_0 и n_0' (рис.2.6.1). Пикетное положение этих точек одинаково.

$$PK_m(n_0) = PK_m(n); \quad PK_m(n_0') = PK_m(n')$$

На продольном профиле трассы дороги номером m на пикетах $PK_m(n_0)$ и $PK_m(n_0')$ находят высотные отметки $H_m(n_0)$ и $H_m(n_0')$ и уклоны продольного профиля $i_m(n_0)$ и $i_m(n_0')$.

Полученные данные заносят в таблицу 2.6.2.

Вычисляют высотные отметки контрольных точек k , k' и продольные уклоны в этих точках.

Случай 1. Отмыкание ЛПО от ПСП.

При отмыкании ЛПО от ПСП дороги III и II категории (рис. 2.6.1).

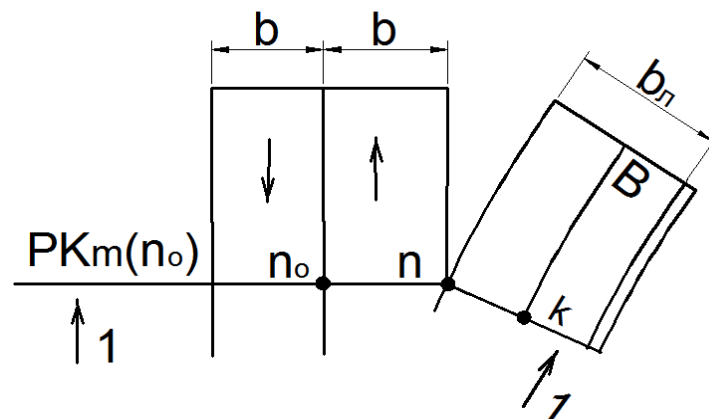


Рис. 2.6.1. Фрагмент дорожного полотна на отмыкании ЛПО от ПСП дорог II и III категорий по схеме I.

Высотная отметка контрольной точки k на ЛПО ниже отметки продольного профиля дороги. Это снижение зависит от поперечного профиля дороги m , на разветвлении кромок проезжих частей кромок ЛПО и полосы дороги.

Поэтому отметку контрольной точки k на ЛПО определяем по формулам (2.6.1), (2.6.2) в соответствии с рисунками (2.6.2 – 2.6.4).

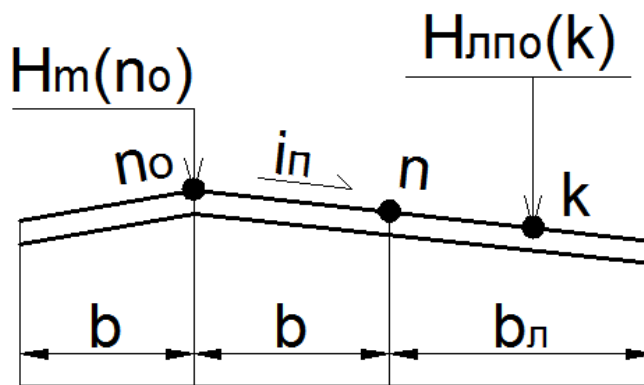


Рис. 2.6.2. Поперечный разрез (см. рис. 2.6.1) проезжей части ЛПО и дороги III и II категории по схеме I.

$$H_{\text{ЛПО}}(k) = H_m(n_o) - i_{\text{п}} \cdot (b + b_{\text{л}}/2), \quad (2.6.1.a)$$

где $H_m(n_o)$ – отметка продольного профиля дороги номер m ($m = 1, 2$) на пикете $PK_m(n_o)$, определяется по данным о продольном профиле дороги m ;

b – ширина основной полосы;

$i_{\text{п}}$, – поперечный уклон проезжей части дороги и ЛПО в сечении, проходящем через точку k (рис. 2.6.2);

$b_{\text{л}}$ – ширина проезжей части ЛПО.

На дорогах I категории продольный профиль каждого направления относят к кромке проезжей части со стороны центральной разделительной полосы.

При отмыкании ЛПО от ПСП на дорогах I категории при четырех полосах движения и отсутствии сквозного распределительного проезда (рис. 2.6.3) отметка контрольной точки k определяется по формуле (2.6.2):

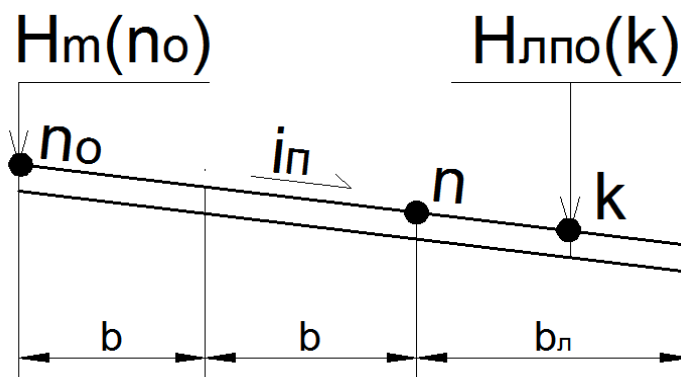


Рис. 2.6.3. Поперечный разрез проезжей части ЛПО и дороги I категории без сквозного распределительного проезда.

$$H_{\text{ЛПО}}(k) = H_m(n_o) - i_{\text{п}} \cdot (b + b + b_{\text{л}}/2). \quad (2.6.1.б)$$

При наличии сквозного распределительного проезда и отмыкания по схеме I высотная отметка контрольной точки k определяется исходя из схемы, представленной на рисунке (2.6.4), по формуле (2.6.2).

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $H_m(n_o); H_m(n_o')$ | | | | | | | | |
| $i_m(n_o); i_m(n_o')$ | | | | | | | | |
| $PK_{\text{ЛПО}}(A); PK_{\text{ЛПО}}(A')$ | | | | | | | | |
| $PK_{\text{ЛПО}}(k); PK_{\text{ЛПО}}(k')$ | | | | | | | | |
| $H_{\text{ЛПО}}(k); H_{\text{ЛПО}}(k')$ | | | | | | | | |
| $i_{\text{ЛПО}}(k); i_{\text{ЛПО}}(k')$ | | | | | | | | |

Пример 2.6.1. Исходные данные.

ЛПО *отмыкает* от дороги 2 категории II на пикете $PK2(A) = 50+00$. Точка расхождения кромок проезжих частей ЛПО и дороги расположена на пикете $PK2(n_o) = 51+50$. Поперечный уклон проезжей части в точке k равен 0,020. Продольный профиль трассы дороги 2 – выпуклая вертикальная кривая радиуса $R = 15\,000$ м. Вершина этой кривой расположена на пикете $50+00$ и имеет отметку $H_B = 100,00$ м (рис. 2.6.П1).

ЛПО *примыкает* к дороге $m = 1$ категории Iв на пикете $PK1(A') = 69+00$. Точка схождения кромок проезжих частей ЛПО и соседней полосы расположена на пикете $70+20$. Продольный профиль дороги 1 – прямая с уклоном +10%. На пикете $69+00$ отметка продольного профиля $95,00$ м.

Пикетаж на дорогах 1 и 2 направлен от точки пересечения осей дорог к точкам n_o и n'_o .

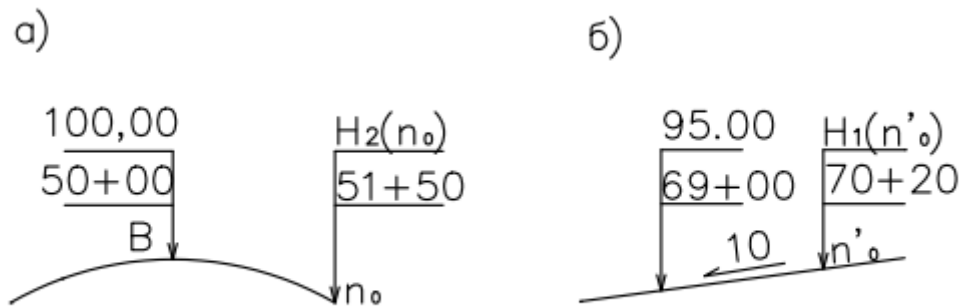


Рис. 2.6.П1. Схемы продольных профилей трассы участков дорог: а) номер 2; б) номер 1.

Требуется вычислить отметки контрольных точек k и k' , а также продольные уклоны в этих точках.

Решение. На отмыкании ЛПО от дороги номер 2 точка n_o имеет пикетное положение $PK2(n_o) = 51+50$ и находится на расстоянии l от вершины выпуклой вертикальной кривой $l = (51+50) - (50+00) = 150$ м.

Отметка продольного профиля дороги номер 2 на пикете $51+50$:

$$PK2(n_o) = H_B - l^2 / (2R) = 100,00 - 150^2 / (2 \cdot 15000) = 99,25 \text{ м.}$$

Отметку контрольной точки k на отмыкании от дороги II категории вычислим по (2.6.1):

$$H_{\text{ЛПО}}(k) = 99,25 - 0,020(3,5 + 5/2) = 99,13 \text{ м.}$$

Уклон касательной к продольному профилю дороги номер 2 на пикете 51+50 (рис. 2.6.П1) направлен от вершины выпуклой кривой к точке n_0 , т.е. уклон i_k отрицательный. Его величина

$$I_k = 150/15000 = -0,01.$$

На примыкании ЛПО к полосе переплетения дороги номер 1 категории I–б без сквозного распределительного проезда точка расхождения кромок проезжих частей ЛПО и дороги номер 1 расположена на пикете $PK1(n'_0) = 70+20$ на расстоянии 120м от пикета 69+00. Отметка точки n'_0 на дороге номер 1:

$$H1(n'_0) = 95,00 + 0,010 \cdot 120 = 96,20\text{м}.$$

Отметку контрольной точки k' на примыкании ЛПО к дороге I–б категории вычисляют по (2.6.1):

$$H_{\text{ЛПО}}(k') = 96,20 - 0,025 \cdot (3,5 + 3,5 + 5,0/2) = 96,14\text{м}.$$

Продольный профиль трассы дороги номер 1 на отмыкании ЛПО от полосы переплетения запроектирован по прямой с уклоном 10‰ (подъем). Уклон дороги номер 1 в точке $n_0 = 10‰$. Так как трасса ЛПО в зоне примыкания направлена против пикетажа дороги 1, то принимаем уклон продольного профиля ЛПО равным $-10‰$.

Таким образом, *на отмыкании* ЛПО от ПСП дороги номер 2 контрольная точка k имеет отметку $H_{\text{ЛПО}}(k) = 99,13\text{м}$ и уклон $i_k = -10‰$, а *на примыкании* контрольную точку k' с отметкой $H_{\text{ЛПО}}(k') = 96,14\text{м}$ и уклоном $i_{k'} = -10‰$.

2.6.2. Проектирование ломанного продольного профиля трассы ЛПО.

Предварительно вычерчивают черный профиль ЛПО по отметкам поверхности земли в точках k и k' , на пикетах и на середине трассы ЛПО (точка S_0).

Продольный профиль трассы ЛПО соединяет контрольные точки k и k' , расположенные на пикетах $PK_{\text{ЛПО}}(k)$ и $PK_{\text{ЛПО}}(k')$. Известны высотные отметки точек k и k' , равные $H_{\text{ЛПО}}(k)$ и $H_{\text{ЛПО}}(k')$, а также продольные уклоны в этих точках i_k и $i_{k'}$.

Расстояние между контрольными точками k и k' и превышения высотных отметок между ними вычисляют по формулам (2.6.5):

$$L_{\text{пр}} = PK_{\text{ЛПО}}(k') - PK_{\text{ЛПО}}(k); \quad \Delta H = H_{\text{ЛПО}}(k') - H_{\text{ЛПО}}(k). \quad (2.6.3)$$

Продольный профиль трассы ЛПО может проходить по нисходящей, соединяя верхнюю дорогу с нижней ($\Delta H < 0$), или восходящей, соединяя нижнюю дорогу с верхней ($\Delta H > 0$).

Ломаный продольный профиль состоит из трех отрезков $kA_1 - A_1A_2 - A_2k'$ (рис. 2.6.3). Необходимо определить пикетное положение и отметки переломов A_1 и A_2 . При известных параметрах контрольных точек k и k' .

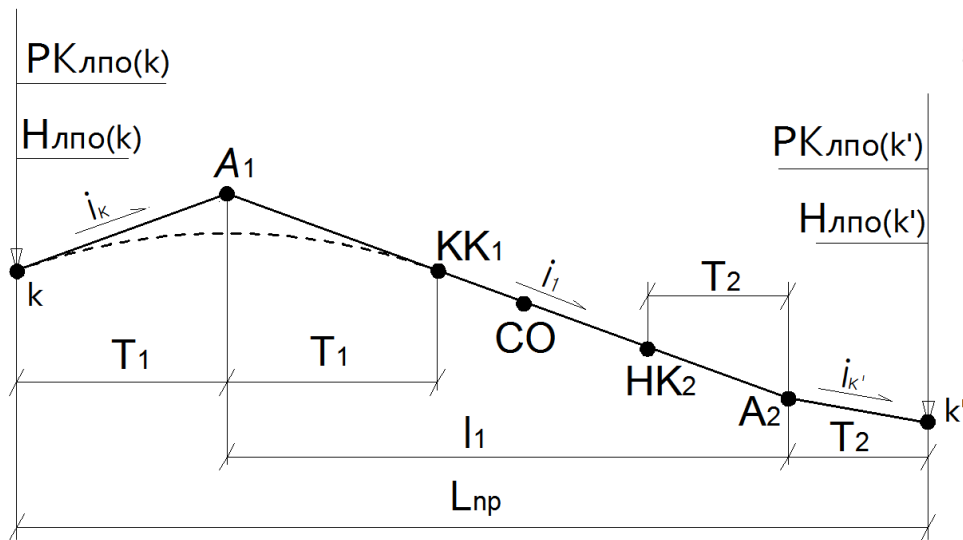


Рис. 2.6.5. Схема к проектированию ломанного продольного профиля ЛПО по нисходящей линии.

Последовательность расчета элементов ломанного продольного профиля трассы ЛПО.

1. Примем продольный уклон i_1 отрезка A_1A_2 равным рекомендуемому максимальному ($i_1 = \pm 50\%$). Вычислим переломы продольного профиля в точках A_1 и A_2 , равные алгебраической разности уклонов пересекающихся прямых, а также тангенсы вертикальных кривых:

$$\omega_1 = \pm i_k - (\pm i_1); \quad \omega_2 = \pm i_1 - (\pm i_{k'}). \quad (2.6.4)$$

В формуле (2.6.4) знаки при уклоне i_1 принимаем: «+» при проектировании продольного профиля ЛПО по восходящей, «-» по нисходящей.

2. Назначим радиусы выпуклой R_1 и вогнутой R_2 вертикальных кривых по таблице (2.6.1), и вычислим тангенсы вертикальных кривых:

$$T_1 = 0,5R_1 \cdot \omega_1; \quad T_2 = 0,5R_2 \cdot \omega_2. \quad (2.6.5)$$

3. Определим расстояние L_1 между переломами A_1 и A_2 и превышение h_1 между ними по (2.6.6):

$$L_1 = L_{нр} - (T_1 + T_2), \quad h_1 = \Delta H - T_2(\pm i_{k'}) - T_1(\pm i_k). \quad (2.6.6)$$

Полученные по (2.6.6) значения L_1 и h_1 округляем до 0,01 м.

4. Вычислим уклон продольного профиля отрезка A_1A_2 :

$$i_1 = h_1/L_1. \quad (2.6.7)$$

5. Полученный по (2.6.7) уклон округляем до целых промиле и сопоставляем с нормами ТКП 509–2014. Возможны случаи, когда $|i_1| \leq 50\%$ (случай 1) и $|i_1| > 50\%$ (случай 2).

5.1. **Случай 1.** $|i_1| < 0,050$. Уклон i_1 оставляем для дальнейших расчетов.

5.1.1. Вычисляем новые значения переломов ω_{11} и ω_{21} :

$$\omega_{11} = \pm i_k - (\pm i_1); \quad \omega_{21} = \pm i_1 - (\pm i_{k'}). \quad (1)$$

В формуле (1) знаки при уклоне i_1 принимаем: «+» при проектировании продольного профиля ЛПО по восходящей, «-» по нисходящей.

5.1.2. Оставляем назначенные по таблице 2.6.1 радиусы вертикальных кривых и вычисляем новые значения тангенсов вертикальных кривых:

$$T_{11} = 0,5R_1 \omega_{11}; \quad T_{21} = 0,5R_2 \omega_{21}. \quad (2)$$

5.1.3. Определим расстояние l_{11} между переломами A_1 и A_2 по формуле (3) и превышение h_{11} между ними по (4):

$$l_{11} = L_{np} - (T_{11} + T_{21}), \quad (3)$$

$$h_{11} = \Delta H - T_{21}(\pm i_k') - T_{11}(\pm i_k). \quad (4)$$

5.1.4. Вычисляем уклон продольного профиля среднего отрезка A_1A_2 :

$$i_{11} = h_{11}/l_{11}. \quad (5)$$

5.1.5. Полученный уклон i_{11} сопоставляем с уклоном i_1 . Если $i_{11} \neq i_1$, то в формуле (1) принимаем $i_1 = i_{11}$, вычисляем переломы ω_{12} и ω_{22} по формуле (1), тангенсы T_{12} , T_{22} по формуле (2), расстояние l_{12} , превышение h_{12} между переломами A_1 и A_2 по формулам (3) и (4) и новое значение уклона отрезка A_1A_2 i_{12} по формуле (5).

5.1.6. Полученное значение уклона i_{12} округляем до значимой величины и сопоставляем с уклоном i_{11} полученном в предыдущем цикле вычисления. Если $i_{12} \neq i_{11}$, то выполняем новый цикл вычислений по формулам (1,2,3,4) и определяем уклон i_{13} по формуле (5).

5.1.7. Сопоставляем предыдущий и последующий уклон отрезка A_1A_2 . Если $i_{13} \neq i_{12}$, рассмотренный выше цикл вычисления уклона i_1 заканчиваем. Принимаем уклон среднего отрезка A_1A_2 (рис.2.6.5) $i_{11} = i_{13}$, переломы $\omega_1 = \omega_{13}$, $\omega_2 = \omega_{23}$, тангенсы $T_1 = T_{13}$, $T_2 = T_{23}$ и вычисляем радиусы вертикальных кривых по формулам:

$$R_{13} = 2 T_{13}/\omega_{13}; \quad R_{23} = 2 T_{23}/\omega_{23} \quad (2.6.8)$$

Результаты циклических вычислений уклона i_1 приводим в виде таблицы.

5.2. Случай 2. $|i_1| > 0,050$, $|i_1| \leq 0,060$ на подъеме и $|i_1| \leq 0,070$ на спуске.

В случае 2 для уменьшения уклона среднего участка ломанного продольного профиля необходимо увеличить радиус горизонтальной кривой плана трассы ЛПО. Минимальное значение этого радиуса определяется по формуле:

$$R = V^2 / (127(0,15 + i_b)), \quad (2.6.9)$$

где V – минимальная расчетная скорость на ЛПО ($V = 40$ км/час);

0,15 – коэффициент поперечной силы;

i_b – максимальный уклон виража (0,040; 0,045; 0,050 для северного, центрального и южного дорожно-климатических районов Республики Беларусь).

Вычисленные по формуле (2.6.9) минимальные радиусы горизонтальных кривых плана трассы ЛПО при $V = 40$ км/час равны 66, 65 и 63 м при уклонах виража 0,040, 0,045 и 0,050. Назначим радиус горизонтальной кривой 65 – 80 м и длину переходной кривой по ТКП 509 – 2014 в соответствии с назначенным радиусом горизонтальной кривой. Уточним расчетную скорость на ЛПО исходя из формулы (2.6.9).

Повторно проектируем план трассы ЛПО по методике, изложенной в § 2.4. После этого переходим к проектированию продольного профиля ЛПО (см. § 2.6), определяем параметры контрольных точек (§ 2.6.1), проектируем ломанный продольный профиль трассы ЛПО (см. § 2.6.2).

Если при выполнении (§ 2.6.2) будет иметь место случай 1, то после пункта 5.1.7 определяют пикетное положение и отметки переломов A_1 и A_2 .

Полученный по формуле (2.6.7) уклон i_1 продольного профиля ЛПО оставляем для дальнейших расчетов.

Проверяем требования о допуске уклона 40‰ на расстоянии видимости S_1 (таблица 2.6.1) до точки k' на спуске.

Если ЛПО соединяет верхнюю дорогу с нижней, то в зоне примыкания к нижней дороге необходимо проверить требования об уклоне продольного профиля не более 40‰ на расстоянии видимости для остановки (см. § 2.6.3).

Пикетное положение отметки переломов ломаного продольного профиля трассы ЛПО (рис. 2.6.5) вычислим по формулам:

$$\begin{aligned} PK_{\text{ЛПО}}(A_1) &= PK_{\text{ЛПО}}(k) + T_{1i}; & PK_{\text{ЛПО}}(A_2) &= PK_{\text{ЛПО}}(k') - T_{2i}; \\ H_{\text{ЛПО}}(A_1) &= H_{\text{ЛПО}}(k) \pm i_k \cdot T_{1i}; & H_{\text{ЛПО}}(A_2) &= H_{\text{ЛПО}}(k') \pm i_k \cdot T_{2i}, \end{aligned}$$

где T_{1i} , T_{2i} – тангенсы вертикальных кривых при последнем цикле подбора уклона i_1 , отрезка A_1A_2 ломаного продольного профиля.

Полученный ломаный продольный профиль трассы ЛПО вычерчивают в заданном масштабе и размещают сверху над продольным профилем трассы ЛПО.

2.6.3. Обеспечение безопасности движения в зоне примыкания ЛПО к дороге.

На примыкании ЛПО к главной дороге второстепенной является ЛПО, на ЛПО устанавливают дорожный знак 2.4 «уступите дорогу», предусматривающий снижение скорости движения автомобиля путем торможения. Тормозной путь зависит от состояния покрытия, от продольного уклона. С целью уменьшения длины тормозного пути ТКП 509–2014 требует обеспечить продольный уклон на примыкании не более 40‰ на протяжении расчетного расстояния S_1 видимости для остановки до точки k' . Это расстояние приведено в таблице 2.6.1.

Исходя из изложенного, это требование относится к примыканию ЛПО к дороге, проходящей в нижнем уровне.

Расстояние от контрольной точки k' до точки с уклоном 40‰ вычислим для двух случаев, когда уклон i_k положительный (рис. 2.6.6, а) и отрицательный (рис. 2.6.6, б).

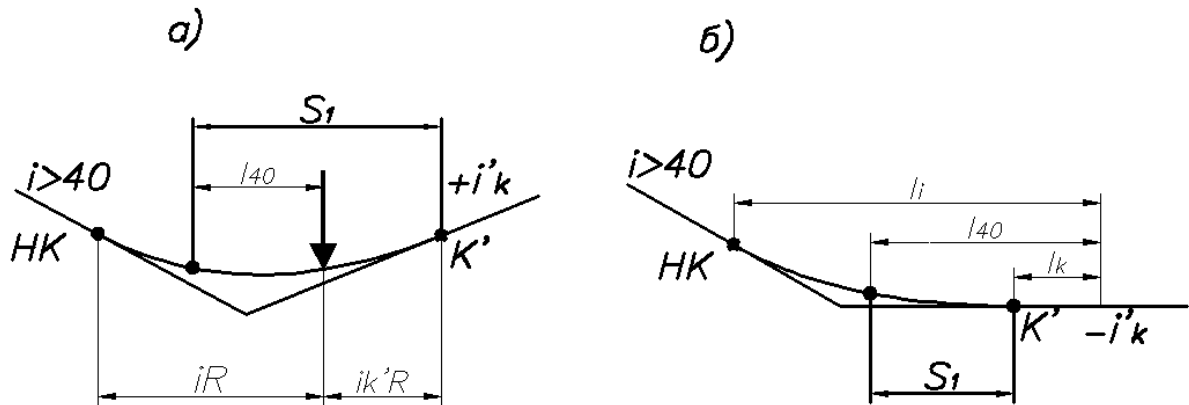


Рис. 2.6.6. Схема к определению расстояния S_1 : а) $i_k \geq 0$; б) $i_k < 0$.

Исходя из рисунка 2.6.6, в случае $i_k \geq 0$ расстояние от точки продольного профиля с уклоном касательной до точки K' вычислим по формуле (2.6.9), а в случае $i_k < 0$ – по формуле (2.6.10):

$$S_1 = l_{k'} + l_{40}; \quad (2.6.9)$$

$$S_1 = l_{40} - l_k; \quad (2.6.10)$$

где $l_{k'}$ – расстояние от вершины вогнутой кривой до точки K' , определяется по формуле (2.6.11);

l_{40} – расстояние от вершины вогнутой кривой до точки на продольном профиле с уклоном касательной 40‰:

$$l_{k'} = i_k \cdot R_2; \quad l_{40} = 0,040 \cdot R_2, \quad (2.6.11)$$

где R_2 – радиус вогнутой кривой.

2.6.4. Проектирование продольного профиля трассы ЛПО.

Исходной информацией для проектирования продольного профиля ЛПО является ломаный продольный профиль ЛПО, полученный ранее (§2.6.2) и обоснованные уклоны ломаной трассы и радиусы вертикальных кривых.

На основе исходной информации определяют пикетное положение и отметки конца вертикальной кривой на переломе A_1 и начала вертикальной кривой на переломе A_2 . Далее определяют отметки на целых пикетах продольного профиля ЛПО и на середине ЛПО в точке CO (рис.2.6.5).

Отметки промежуточных точек на вертикальных кривых вычисляют по схеме 1 (ось X касательная к началу (концу) вертикальной кривой) или по схеме 2 (ось I касательная к вершине вертикальной кривой).

2.7. Проектирование плана трассы правоповоротных соединительных ответвлений.

Правоповоротные соединительные ответвления (ППО) проектируют односторонними прямыми однополосными или двухполосными (рис.2.7.1.).

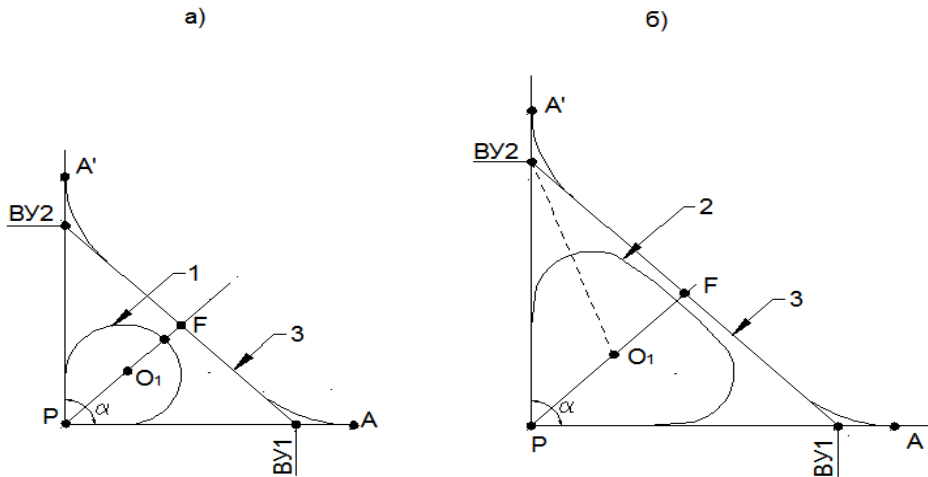


Рис.2.7.1. Схемы плана трассы односторонних направленных прямых ППО: а) – по варианту 1; б) – по варианту 2; 1,2 – ось ЛПО по типу 1 и по типу 2; 3 – оси односторонних прямых ППО.

План трассы ППО состоит из двух закруглений малого радиуса на $BU1$ и $BU2$ с прямой вставкой между ними (рис.2.7.1).

Радиус R_n круговой кривой назначается по расчетной скорости на ППО (таблица 2.7.1), а длина переходной кривой L по принятому радиусу R_n (таблица 2.7.2).

Основная расчетная скорость на ППО нормируется в зависимости от расчетной скорости движения на дороге, от которой отмыкает ППО (таблица.2.7.1).

Таблица 2.7.1.

| Расчетная скорость на ППО | |
|--|--------|
| Расчетная скорость, км/ч | |
| На основной дороге, с которой начинается ППО | На ППО |
| 140 | 80 |
| 120 | 70 |
| 100 | 60 |
| 80 | 40 |

Таблица 2.7.2.

Радиус и длина переходной кривой.

| V_p , км/ч | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $R_{п}$, м | 50 | 80 | 120 | 150 | 200 |
| $L_{п}$, м | 50/30 | 65/40 | 75/45 | 80/50 | 90/60 |

Примечание. Длины переходных кривых $L_{п}$ вверху приведены для свободных условий проектирования и внизу для несвободных.

После назначения величин $R_{п}$ и $L_{п}$ вычисляют элементы закругления в такой последовательности.

Определяют угол переходной кривой β по формуле (2.4.1) и проверяют условие возможности разбивки закругления:

$$\gamma \geq 2\beta, \quad (2.7.1)$$

где γ – угол поворота плана трассы ППО на ВУ_{1,в} (рис.2.7.4, 2.7.6), равный $90 - 0,5\alpha$.

Если условие (2.7.1) не выполняется, то следует уменьшить длину переходной кривой до выполнения условия (2.7.1).

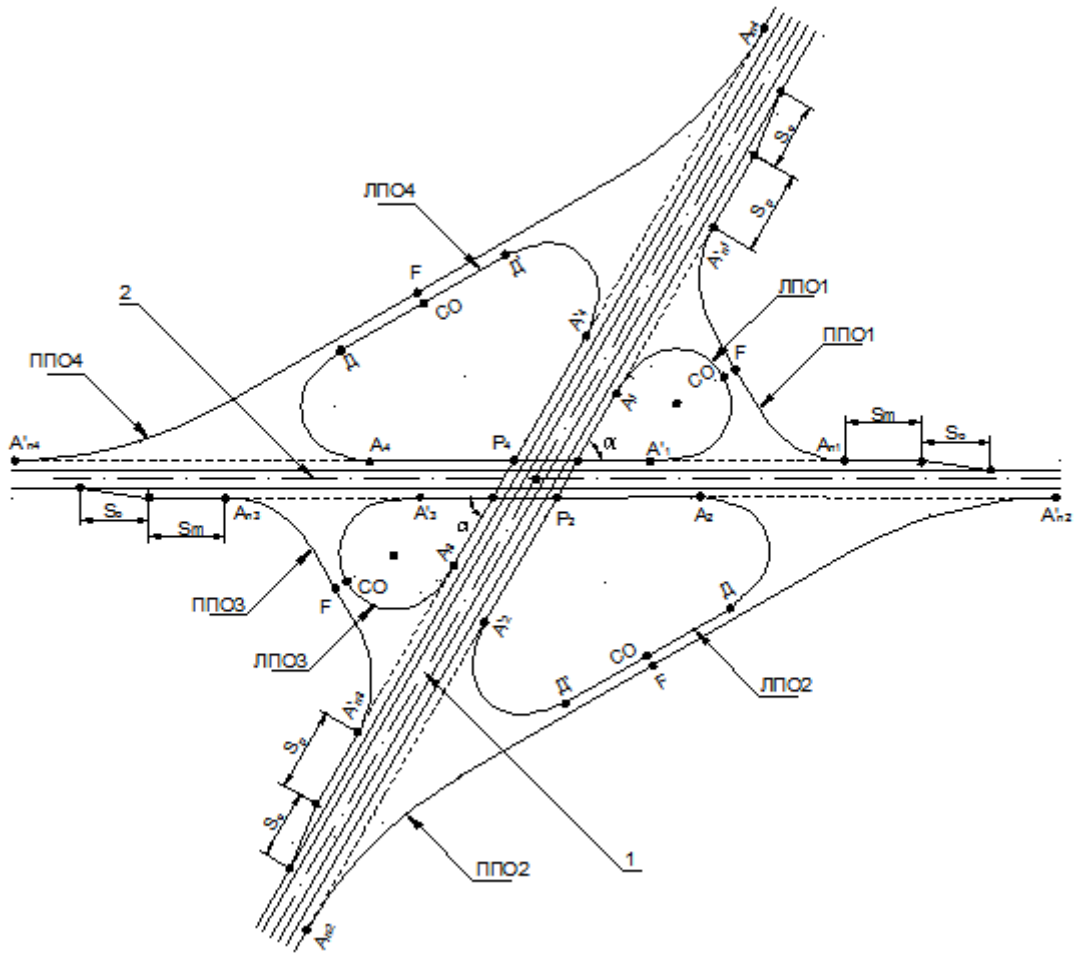


Рис.2.7.2. Схема плана трассы транспортной развязки «клеверный лист» с ППО по варианту 1 (ППО1, ППО3) и по варианту 2 (ППО2, ППО4).

Проектирование плана трассы ППО включает:

- расчет элементов закруглений трассы ППО на ВУ_{1,в} и ВУ_{1',в'};
- определение положения оси ППО на биссектрисе угла пересечения дорог;
- проверка возможности разбивки ППО по вариантам 1 и 2;
- определение длины однополосных ППО;

- назначение числа полос движения на ППО;
- определение пикетного положения $ВУ_{i,в}$ и $ВУ_{i',в}$;
- определение пикетного положения основных точек ППО;
- проектирование ППО по варианту 3 в случае не возможности разбивки ППО по вариантам 1 и 2.

Расчет элементов закруглений на $ВУ_{i,в}$ включает определение смещения t_n и сдвижки p_n по формулам (2.4.2) и (2.4.3), определение тангенса круговой кривой T_n , длины круговой кривой после введения переходной K_0 и домера D_M по формулам (2.4.14) и (2.4.15), принимая вместо угла f угол γ .

2.7.1. Определение положения оси ППО на биссектрисе угла пересечения дорог

Положение оси ППО на биссектрисе угла пересечения дорог назначают по типу соседнего ЛПО и по заданию.

Если соседнее ЛПО запроектировано по типу 1 (рис.2.7.2), то земляное полотно ППО проектируют раздельно от земляного полотна ЛПО (вариант 1).

Схема плана трассы ППО по варианту 1 представлена на рисунке 2.7.3.

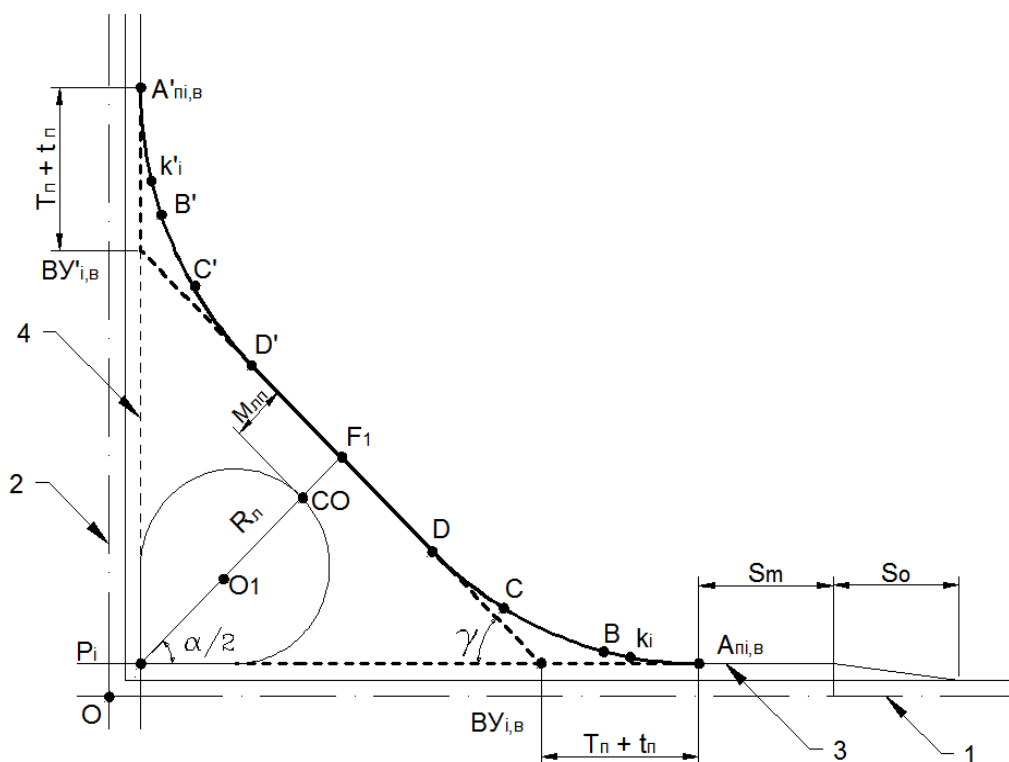


Рис. 2.7.3. Схема плана трассы ППО по варианту 1: 1,2 – оси пересекающихся дорог; 3,4 – оси полос, соединяемых ППО.

Положения плана трассы ППО определяют из условия обеспечения требуемого расстояния между подошвами насыпи ЛПО и ППО не менее одного метра для облегчения водоотвода с территории, занятой транспортной развязкой. По этому условию назначают расстояние $M_{лп}$ между осями ППО и ЛПО на биссектрисе угла пересечения дорог (рис.2.7.4).

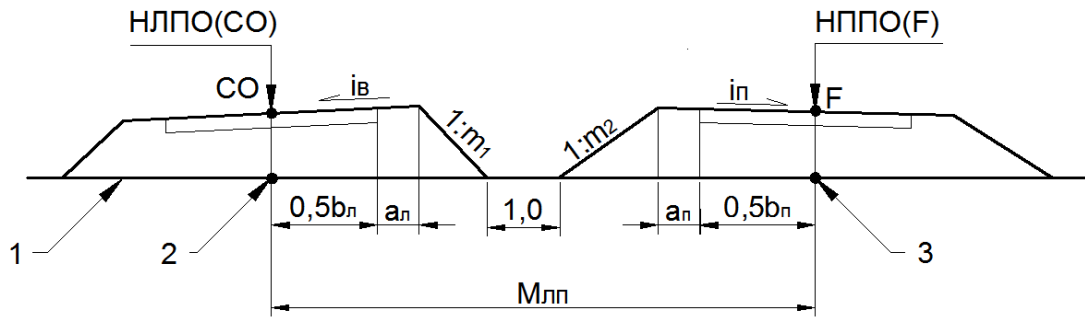


Рис. 2.7.4. Поперечный разрез ЛПО и ППО по биссектрисе угла пересечения дорог: 1 – разрез поверхности земли; 2,3 – положение черных отметок продольных профилей на пикетах СО и F.

Расстояние $M_{лп}$ между осью ЛПО и осью ППО (рис.2.7.4) определяют по формуле (2.7.2) принимая высотные отметки продольного профиля ППО и ЛПО одинаковыми:

$$M_{лп} = 0,5b_{л} + 0,5b_{п} + (m_1 + m_2)(H_{лпо}(CO) - H_{чл}) + 1,0 + a_{л} + a_{п}, \quad (2.7.2)$$

где $b_{л}$ – ширина проезжей части ЛПО, равная 5,0м;

$b_{п}$ – ширина проезжей части ППО, равная 4,5м;

$a_{л}, a_{п}$ – ширина обочины ЛПО и ППО ($a_{л} = a_{п} = 1,75$ м);

m_1, m_2 – заложение откосов насыпей ЛПО и ППО;

$H_{лпо}(CO)$ – отметка продольного профиля ЛПО в точке СО, определяется по данным о продольном профиле трассы ЛПО;

$H_{чл}$ – отметка черного профиля ЛПО на пикете СО.

Если соседнее ЛПО запроектировано по типу 2, то ППО проектируют по варианту 2. В случае варианта 2 дорожное полотно является общим на прямолинейном участке ДД' ЛПО по типу 2 (рис.2.7.2) или на биссектрисе угла α в случае ЛПО по типу 1.

Схема плана трассы ППО по варианту 2 представлена на рисунке 2.7.5.

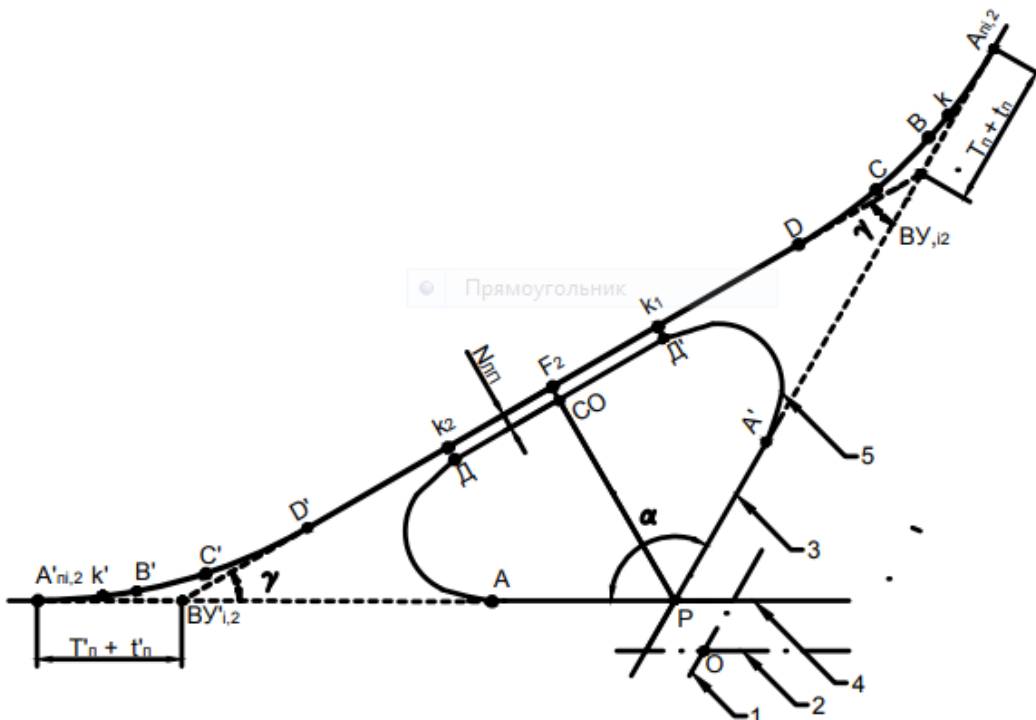


Рис.2.7.5. План трассы ППО по варианту 2: 1,2 – оси пересекающихся дорог; 3,4 – оси полос, соединяемых ППО; 5 – ось ЛПО по типу 2.

Для уменьшения площади, занимаемой транспортной развязкой «клеверный лист», дорожное полотно ЛПО и ППО проектируют общим на прямолинейном участке ЛПО по типу 2 (рис.2.7.6). Встречные проезжие части отделяют разделительной полосой шириной 2,70м с установкой на ней двухстороннего барьерного ограждения.

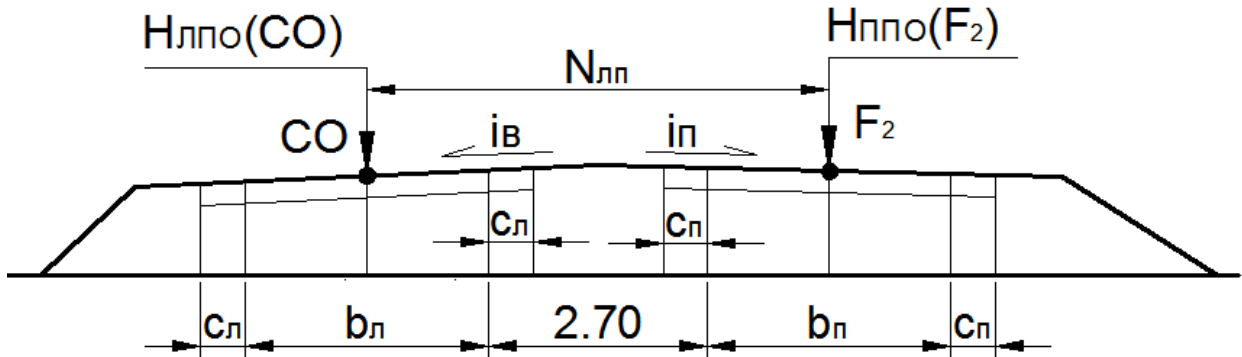


Рис.2.7.6. Поперечный разрез общего дорожного полотна ЛПО по типу 2 и ППО по варианту 2.

Расстояние $N_{лп}$ между осями ППО по варианту 2 и ЛПО по типу 2 (рис.2.7.6) вычисляется по формуле:

$$N_{лп} = 0,5b_{л} + 2,70 + 0,5b_{п}, \quad (2.7.3)$$

где $b_{л}, b_{п}$ – ширина однополосной проезжей части ЛПО и ППО ($b_{л}=5,0\text{м}$, $b_{п}=4,50\text{м}$).

Расстояние от точек P_i до середины ППО (точка F_1) по варианту 1 определяется по формуле (2.7.4.), а по варианту 2 (точка F_2) по формуле (2.7.5.):

$$P_i F_1 = P_i O_1 + R_{л} + M_{лп}; \quad (2.7.4)$$

$$P_i F_2 = P_i CO + N_{лп}, \quad (2.7.5)$$

где $P_i O_1$ – см. (2.4.10а);

$P_i CO$ – см. (2.4.15);

$R_{л}$ – радиус ЛПО;

$M_{лп}$ – см. (2.7.2);

$N_{лп}$ – см. (2.7.3).

2.7.2. Проверка возможности разбивки ППО по вариантам 1 и 2

Расстояние от вершины угла поворота ломаной трассы ППО до середины ППО (рис.2.7.3 точка F_1 и рис.2.7.5 точка F_2) вычислим по формуле (2.7.6). Оно должно быть достаточным для размещения тангенса закругления:

$$S_{Fв} = P_i F_{в} \cdot \text{tg}(\alpha / 2). \quad (2.7.6)$$

где α – острый или тупой угол пересечения осей дорог см. рисунки 2.7.3 и 2.7.5.

Условием возможности разбивки трассы ППО по вариантам 1 и 2 является зависимость (2.7.7).

$$S_{Fв} \geq (T_{п} + t_{п}) \quad (2.7.7)$$

Если условие (2.7.7) не выполняется, то **план трассы ППО проектируют по варианту 3** одним закруглением малого радиуса.

Если условие (2.7.7) выполняется, то продолжают проектировать ППО по варианту 1 (рис. 2.7.3) или по варианту 2.

Длину трассы ППО по варианту 1 определяют по формуле (2.7.8), а по варианту 2 (рис. 2.7.5) по формуле (2.7.9):

$$S_{\text{ппо}} = 2 \cdot ((T_{\text{п}} + t_{\text{п}} + P_i F_1 \cdot \text{tg}(\alpha/2)) - D_m); \quad (2.7.8)$$

$$S_{\text{ппо}} = 2 \cdot ((T_{\text{п}} + t_{\text{п}} + P_i F_2 \cdot \text{tg}(\alpha/2)) - D_m), \quad (2.7.9)$$

где $T_{\text{п}}, t_{\text{п}}, D_m$ – тангенсы круговой и переходной кривой, домер закругления;

α – острый или тупой угол пересечения осей дорог см. рисунки 2.7.3 и 2.7.5.

По ТКП 509–2014 при длине соединительного ответвления более 500м следует предусматривать двухполосную проезжую часть шириной полосы движения 3,50м (3,25м при интенсивности движения менее 3000авт/сут) с обочинами по 1,75м.

Если полученная по формулам (2.7.8) или (2.7.9) длина ППО более 500м, то принимаем двухполосную проезжую часть ППО шириной полосы 3,50м. При этом расстояние между осями ЛПО и ППО ($M_{\text{лпс}}$ и $N_{\text{лп}}$) увеличится на 3,0м ($3,50 + 0,5 \cdot (3,50 - 4,50)$) по сравнению с однополосными ППО. Также определяется новое значение $P_i F_1$ и $P_i F_2$ по формулам (2.7.4) и (2.7.5).

2.7.3. Определение положений вершин углов поворота трассы ППО.

Пикетное положение вершин углов поворота трассы ППО в пикетаже дорог номером m ($m = 1,2$) на пересекающихся дорогах (рис.2.7.3) и (рис.2.7.5) определяется по формулам (2.7.10) для первого закругления трассы ППО и по формуле (2.7.11) для второго закругления.

$$PK_m(BU_{i,v}) = PK_m(O) \pm (C_m(P_i) + P_i BU_{i,v}); \quad (2.7.10)$$

$$PK_m(BU'_{i,v}) = PK_m(O) \pm (C_m(P_i) + P_i BU'_{i,v}), \quad (2.7.11)$$

где $PK_m(BU_{i,v})$ – пикетное положение на дороге номером m ($m = 1,2$) вершины первого угла поворота на ППО номером i по варианту v ($v = 1,2$);

$PK_m(O)$ – пикетное положение на дороге номером m ($m = 1,2$) точки пересечения осей дорог;

$C_m(P_i)$ – смещение по направлению дороги m ($m = 1,2$) точки P_i пересечения осей сопрягаемых ППО полос движения (ПСП) вычисляются по формулам (2.4.7) и (2.4.8);

$P_i BU_{i,v}$ – расстояние от точки P_i до точки $BU_{i,v}$ по варианту v ($v = 1,2$) определяют по формуле (2.7.12);

$PK_m(BU'_{i,v})$ – пикетное положение на дороге номером m ($m = 1,2$) вершины второго угла поворота на ППО номером i по варианту v ($v = 1,2$);

$P_i BU'_{i,v}$ – расстояние от точки P_i до точки $BU'_{i,v}$ по варианту v ($v = 1,2$) ($P_i BU'_{i,v} = P_i BU_{i,v}$).

$$P_i BU_{i,v} = P_i F_v / \cos(\alpha/2); \quad (2.7.12)$$

где α – острый или тупой угол пересечения осей дорог см. рисунки 2.7.3 и 2.7.5;

$P_i F_v$ – см. (2.7.4) для $P_i F_1$ и (2.7.5) для $P_i F_2$.

В формулах (2.7.10) и (2.7.11) знаки «+» или «-» зависят от направления пикетажа на дороге m ($m = 1,2$). Если в формулах (2.7.10) принят индекс $m=1$, то в формулах (2.7.11) индекс $m = 2$.

Пикетное положение начала и конца ППО в пикетаже пересекающихся дорог определяется по формулам (2.7.13) и (2.7.14):

$$PK_m(A_{\text{Пп,в}}) = PK_m(BU_{i,v}) \pm (T_{\text{п}} + t_{\text{п}}); \quad (2.7.13)$$

$$PK_m(A'_{\text{Пп,в}}) = PK_m(BU'_{i,v}) \pm (T_{\text{п}} + t_{\text{п}}), \quad (2.7.14)$$

где $PK_m(A_{\text{Пп,в}})$, $PK_m(A'_{\text{Пп,в}})$ – пикетное положение на дороге m ($m = 1,2$) начала ППО (точка $A_{\text{Пп,в}}$) и конца ППО (точка $A'_{\text{Пп,в}}$);

$PK_m(BU_{i,v})$, $PK_m(BU'_{i,v})$ – см. (2.7.10) и (2.7.11);

$T_{\text{п}}, t_{\text{п}}$ – тангенсы круговой и переходной кривых определяется по формулам (2.4.14) и (2.4.2) для принятых значений радиуса и переходной кривой.

2.7.4. Определение пикетного положения основных точек ППО.

План трассы ППО состоит из двух закруглений малого радиуса на ВУ1 и ВУ2 с прямой вставкой между ними (рис.2.7.1).

На транспортной развязке «клеверный лист» план трассы ППО располагается симметрично относительно биссектрисы угла пересечения осей дорог. Поэтому элементы закруглений на ВУ_{1,в} и на ВУ_{1,в} одинаковы.

Пикетаж плана трассы ППО по варианту 1 начинается в точке $A_{п.1}$ (рис. 2.7.3) и в точке $A_{п.2}$ при варианте 2 трассы ППО (рис.2.7.5). Пикетное положение названных точек равно $0+00$, то есть $РК_{ППО}(A_{п.1}) = РК_{ППО}(A_{п.2}) = 0 + 00$.

Пикетное положение середины ППО по варианту 1 (точка F_1) и по варианту 2 (точка F_2) определяется по формулам (2.7.15).

Пикетное положение конца ППО по варианту 1 и по варианту 2 определяется по формулам (2.7.16).

$$РК_{ППО}(F_B) = T_n + t_n + S_{F_B} - D_M; \quad (2.7.15)$$

$$РК_{ППО}(A'_{п.в}) = 2(T_n + t_n + S_{F_B} - D_M), \quad (2.7.16)$$

где T_n, t_n – тангенсы круговой и переходной кривых определяется по формулам (2.4.14 и 2.4.2);

S_{F_B} – (см. 2.7.6);

D_M – домер закругления, вычисляется по формуле (2.4.15).

Пикетное положение точек В, С, D, F, D', C', B' (рис.2.7.3) и (рис.2.7.5) в пикетаже ППО определяется по формулам:

$$\begin{aligned} РК_{ППО}(B) &= L_n; \\ РК_{ППО}(C) &= L_n + K_o; \end{aligned} \quad (2.7.17)$$

$$\begin{aligned} РК_{ППО}(D) &= 2L_n + K_o; \\ РК_{ППО}(B') &= РК_{ППО}(A'_{п.в}) - L_n; \end{aligned}$$

$$РК_{ППО}(C') = РК_{ППО}(A'_{п.в}) - L_n - K_o;$$

$$РК_{ППО}(D') = РК_{ППО}(A'_{п.в}) - 2L_n - K_o,$$

где L_n, K_o – длина переходной и круговой кривых.

2.7.5 Проектирование плана трассы ППО по варианту 3

План трассы ППО по варианту 3 состоит из одного закругления малого радиуса (рис.2.7.7).

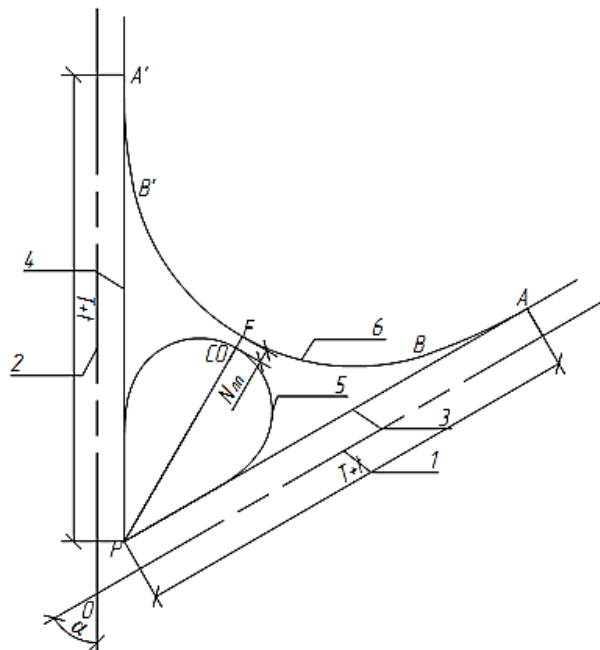


Рис.2.7.7. – Схема плана трассы ППО по варианту 3:
1,2 – оси пересекающихся дорог; 3,4 – оси ПСП; 5 – ось ЛПО; 6 – ось ППО

Радиус круговой кривой, проходящей через точку F на ППО вычисляют по формуле (2.7.18).

$$R = PF \cdot (\sec((180 - \alpha)/2) - 1), \quad (2.7.18)$$

где PF – расстояние от точки пересечения осей ПСП до трассы ППО по биссектрисе угла α пересечения дорог определяется по формуле (2.7.4) или (2.7.5).

Если полученный радиус менее 800м, то в это закругление вписывают переходные кривые. Длину их принимают по таблице 6 ТКП 509–2014 для данного радиуса.

Так как при введении переходных кривых образуется сдвигка p круговой кривой, то полученный по формуле (2.7.18) радиус круговой кривой корректируем на величину сдвигки:

$$R' = R - p, \quad (2.7.19)$$

После определения радиуса R' , вычисляют основные параметры закругления малого радиуса, такие как тангенсы круговой и переходной кривых, сдвигку и домер по формулам, приведенным в разделе 2.4.

Определяют пикетное положение начала и конца ППО в пикетаже пересекающихся дорог, по формуле (2.7.20).

$$\begin{aligned} PK_m(A_{i,b}) &= PK_m(O) \pm (C_m(P_i) + T + t); \\ PK_m(A'_{i,b}) &= PK_m(O) \pm (C_m(P_i) + T + t). \end{aligned} \quad (2.7.20)$$

2.8. Проектирование продольного профиля ППО.

Расчетная скорость движения на ППО по ТКП 509–2014 назначается по таблице 2.7.1. Этой скорости соответствуют минимальные радиусы вертикальных кривых, приведенных в таблице 2.6.1. Максимальные продольные уклоны продольного профиля ППО нормируются аналогично ЛПО (см. § 2.6). Рекомендуется принимать продольный уклон ППО не более 50‰.

Продольный профиль трассы ППО проектируют на участке от контрольной точки k в зоне отмыкания от конца полосы торможения до точки k' в зоне примыкания к началу полосы разгона.

Контрольные точки k и k' характеризуются пикетным положением на ППО, высотной отметкой и продольным уклоном.

Проезжая часть ППО может быть однополосной или двухполосной при длине ППО более 500метров.

В случае однополосной проезжей части ППО шириною 4,50м величины l_0 , X_n , X'_n определяют по методике, изложенной в § 2.5.3. Пикетное положение на ППО точек k и k' определяют по формулам (2.5.15, 2.5.17), пикетное положение на ППО точек n и n' в пикетаже дорог вычисляют по формулам (2.5.14, 2.5.16).

Высотные отметки $H_{\text{ППО}}(k)$ и $H_{\text{ППО}}(k')$ контрольных точек k и k' определяют по формулам (2.6.1–2.6.3), принимая вместо ширины проезжей части ЛПО b_n ширину однополосной проезжей части ППО $b_n = 4,50\text{м}$.

В случае двухполосной проезжей части ППО шириной полосы 3,50м отмыкание крайней правой полосы ППО от полосы торможения такой же ширины 3,50м происходит в начале ППО в точке A_{ni} (рис 2.7.6), а примыкание в конце ППО в точке A'_{ni} . В связи с этим при двухполосной проезжей части ППО шириною полосы 3,50м, $l_0=0$, $X_n=0$, $X'_n=0$. Контрольные точки k и k' находятся в начале и конце трассы ППО:

$$PK_{\text{ППО}}(k) = 0 + 00; \quad (2.8.1)$$

$$PK_{\text{ППО}}(k') = PK_{\text{ПП}}(A'_{ni}). \quad (2.8.2)$$

При двухполосной проезжей части высотные отметки $H_{\text{ППО}}(k)$ и $H_{\text{ППО}}(k')$ контрольных точек k и k' определяют по формулам (2.6.1–2.6.3), принимая вместо слагаемого $b_n/2$ слагаемое $(b + b/2)$.

Продольный уклон трассы ППО в точках **k** и **k'** принимают равным уклону продольного профиля дороги номер m на пикете $PK_m(n_0)$ в случае отмыкания или на пикете $PK_m(n'_0)$ в случае примыкания к дороге номер m .

Знак уклона в точках k и k' принимается равным знаку продольного уклона дороги в случае, если направление движения на отмыкании (примыкании) ППО совпадает с направлением пикетажа на дороге и принимается противоположный, если направление не совпадает.

Величина продольного уклона i_k и $i_{k'}$ округляется с точностью до 0,001.

Результаты определения параметров контрольных точек **k** и **k'** приводят в табличной форме (таблица 2.8.1).

Таблица 2.8.1

Определение параметров основных контрольных точек **k** и **k'**.

| | ППО1 | | ППО2 | | ППО3 | | ППО4 | |
|---------------------------------------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
| Длина ППО, м. | | | | | | | | |
| Начало и конец ППО | $A_{П1}$ | $A'_{П1}$ | $A_{П2}$ | $A'_{П2}$ | $A_{П3}$ | $A'_{П3}$ | $A_{П4}$ | $A'_{П4}$ |
| Номер дороги | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 |
| Категория дороги | | | | | | | | |
| $PK_m(A_{П});$ $PK_m(A'_{П})$ | | | | | | | | |
| $PK_m(n_0);$ $PK_m(n'_0)$ | | | | | | | | |
| $H_m(n_0);$ $H_m(n'_0)$ | | | | | | | | |
| $i_m(n_0);$ $i_m(n'_0)$ | | | | | | | | |
| $PK_{ППО}(A_{П});$ $PK_{ППО}(A'_{П})$ | | | | | | | | |
| $PK_{ППО}(k);$ $PK_{ППО}(k')$ | | | | | | | | |
| $H_{ППО}(k);$ $H_{ППО}(k')$ | | | | | | | | |
| $i_{ППО}(k);$ $i_{ППО}(k')$ | | | | | | | | |

Продольный профиль ППО проектируют по варианту 1, если рядом расположена ЛПО по типу 1 и по варианту 2, если запроектировано ЛПО по типу 2.

Схема продольного профиля ППО по варианту 1, приведена на рисунке 2.8.1.

Продольный профиль ППО по варианту 1 состоит из двух участков. Границей этих участков является точка **F**₁. Продольный профиль ППО первого и второго участка ППО проектируют по методике проектирования продольного профиля ЛПО.

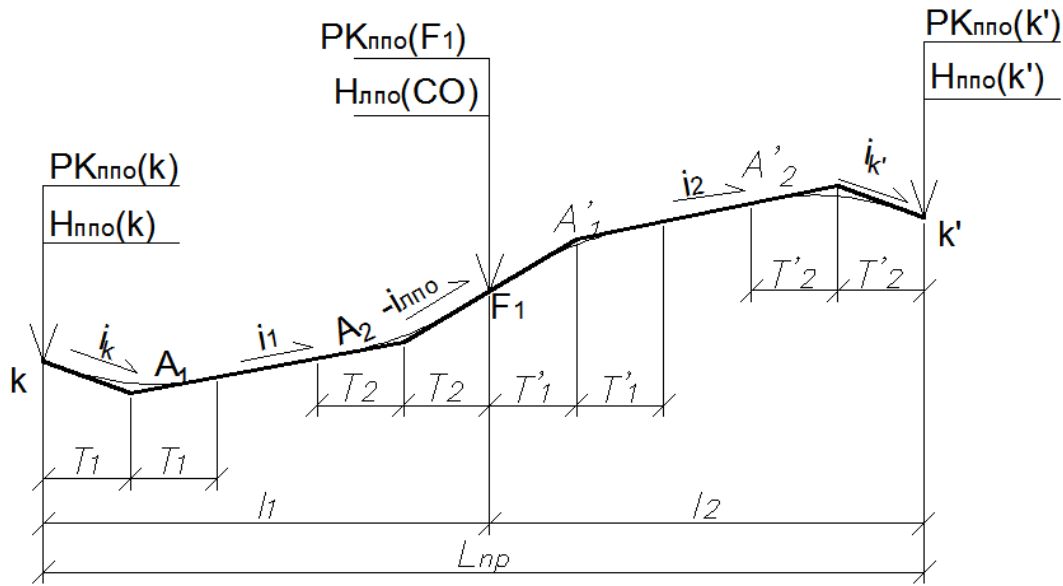


Рис.2.8.1. Схема ломанного продольного профиля ЛПО по варианту 1:

Продольный профиль ЛПО по варианту 2 проектируют исходя из размещения части ЛПО и ЛПО на общем дорожном полотне. На участке общего дорожного полотна план трассы ЛПО, продольный профиль ЛПО, план трассы ЛПО и продольный профиль ЛПО проектируют прямыми. Пикетное положение начала и конца этих прямых определяют по данным о плане и продольном профиле ЛПО по типу 2.

На плане трассы ЛПО находят расстояние от точки СО до начала и конца прямого участка ДД' (рис.2.8.2):

$$S_1 = S_2 = PK_{\text{ЛПО}}(\text{СО}) - PK_{\text{ЛПО}}(\text{Д}), \quad (2.8.3)$$

где $PK_{\text{ЛПО}}(\text{СО})$ – пикетное положение середины ЛПО определяется по формуле (2.4.16.2);

$PK_{\text{ЛПО}}(\text{Д})$ – пикетное положение до конца первого закругления трассы ЛПО по типу 2 определяется по формуле (2.4.16.1).

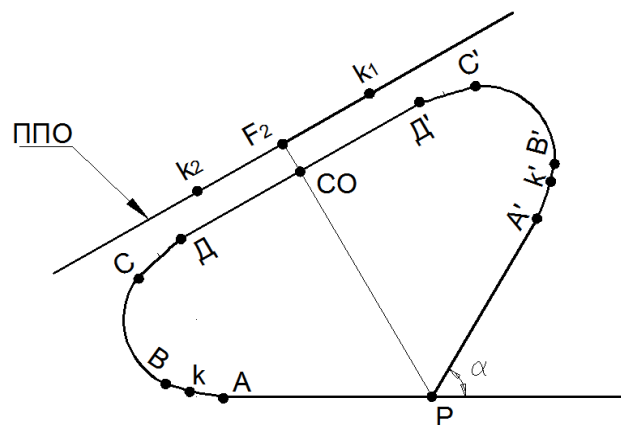


Рис.2.8.2. Схема к определению положения контрольных точек k_1 и k_2 на ЛПО по варианту 2.

На продольном профиле ЛПО по типу 2 (рис.2.6.5) определяют расстояние от середины ЛПО до конца первого закругления (КК1) и до начала второго закругления (НК2):

$$f_1 = PK_{\text{ЛПО}}(\text{СО}) - PK_{\text{ЛПО}}(\text{КК1}); \quad (2.8.4)$$

$$f_2 = PK_{\text{ЛПО}}(\text{НК2}) - PK_{\text{ЛПО}}(\text{СО}). \quad (2.8.5)$$

Сопоставляют полученную величину S_1 с величиной f_1 , а также величину S_2 с величиной f_2 и принимают для расчета положение точек k_1 и k_2 меньшее значение.

Пусть $S_1 > f_1$ и $S_2 > f_2$. Пикетное положение начала и конца фиксированного участка прямолинейного продольного профиля ППО, совпадающего с прямолинейным продольным профилем соседнего ЛПО определяются по формулам:

$$PK_{\text{ппо}}(k_1) = PK_{\text{лпо}}(F_2) - f_2; \quad (2.8.6)$$

$$PK_{\text{ппо}}(k_2) = PK_{\text{лпо}}(F_2) + f_1. \quad (2.8.7)$$

Продольный уклон этого фиксированного участка принимают по данным продольного профиля ЛПО по типу 2. Отметки точек k_1 и k_2 на пикетах $PK_{\text{ппо}}(k_1)$ и $PK_{\text{ппо}}(k_2)$ вычисляют по формулам (2.8.8 и 2.8.9):

$$H_{\text{ппо}}(k_1) = H_{\text{лпо}}(F_2) \pm i[PK_{\text{лпо}}(F_2) - PK_{\text{ппо}}(k_1)]; \quad (2.8.8)$$

$$H_{\text{ппо}}(k_2) = H_{\text{лпо}}(F_2) \pm i[PK_{\text{лпо}}(F_2) - PK_{\text{ппо}}(k_2)], \quad (2.8.9)$$

Результаты определения параметров точек k_1 и k_2 приводят в виде таблицы 2.8.2.

Таблица 2.8.2.

Определение параметров дополнительных контрольных точек

| | ППО1 | ППО2 | ППО3 | ППО4 |
|------------------------|------|------|------|------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| $PK_{\text{лпо}}(F_1)$ | | | | |
| $H_{\text{лпо}}(CO)$ | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| $i_{\text{лпо}}(CO)$ | | | | |
| $PK_{\text{лпо}}(F_2)$ | | | | |
| $H_{\text{лпо}}(F_2)$ | | | | |
| $i_{\text{ппо}}(F_2)$ | | | | |
| $PK_{\text{ппо}}(k_1)$ | | | | |
| $H_{\text{ппо}}(k_1)$ | | | | |
| $PK_{\text{ппо}}(k_2)$ | | | | |
| $H_{\text{ппо}}(k_2)$ | | | | |

Продольный профиль трассы ППО по варианту 2 (рис.2.8.3) состоит из трех участков. На первом участке сопрягают контрольную точку k (начало ППО) с контрольной точкой k_1 (начало участка с общим дорожным полотном ЛПО и ППО). Второй участок с общим дорожным полотном ЛПО и ППО от точки k_1 до k_2 . Он имеет фиксированные параметры точек k_1 и k_2 . На третьем участке продольный профиль ППО сопрягает конец участка с общим дорожным полотном (точку k_2) и конец трассы ППО (точку $A'_п$).

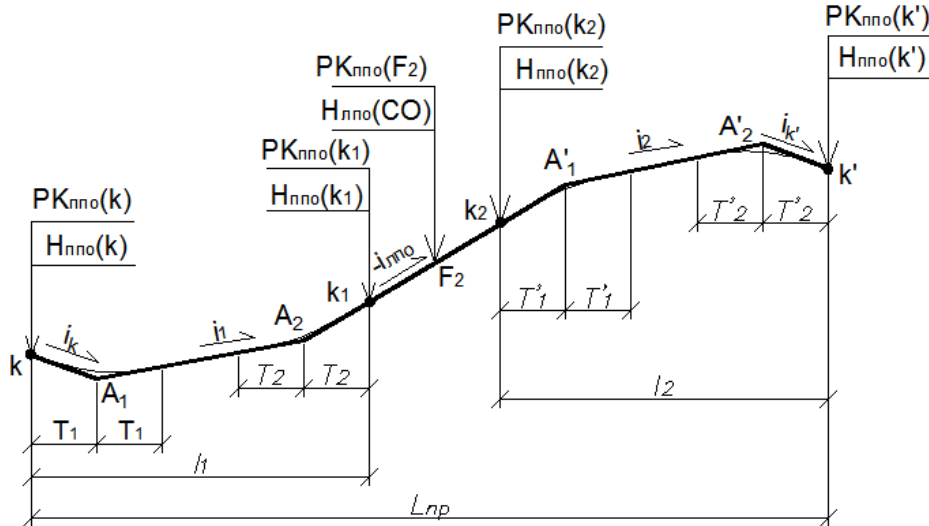


Рис.2.8.3. Схема ломанного продольного профиля по варианту 2.

Методика проектирования продольного профиля первого и третьего участка ППО по варианту 2 аналогична методике проектирования продольного профиля ЛПО по типу 1.

2.9. Проектирование сквозного распределительного проезда

Сквозной распределительный проезд (СРП) представляет дополнительную полосу движения шириной 3,50м и предназначен для повышения пропускной способности транспортной развязки «клеверный лист», повышения безопасности движения и поддержания высоких скоростей движения на транзитных полосах.

План трассы сквозного распределительного проезда приведен на рисунке 2.9.1.

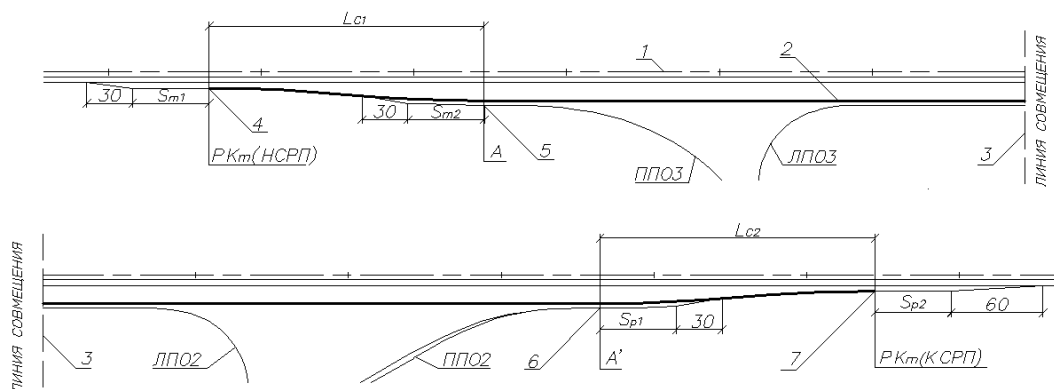


Рис.2.9.1. Схема плана трассы транспортной развязки «клеверный лист» в зоне сквозного распределительного проезда: 1,3 – оси пересекающихся автомобильных дорог; 2 – ось сквозного распределительного проезда; 4,5 – конец полос торможения S_{m1} и S_{m2} ; 6,7 – начало полос разгона S_{p1} и S_{p2} .

Сквозной распределительный проезд состоит из трех участков: начального, среднего и конечного (рис.2.9.1).

Средний участок сквозного распределительного проезда проектируют параллельно транзитной проезжей части дорог I категории и отделяют от нее разделительной полосой шириной 2,70м с установкой на этой разделительной полосе металлического барьерного ограждения.

На дорогах I-а категории предусматривают остановочные полосы на обочинах шириной 2,50м. Эти полосы назначают также на дорогах I-б категории при интенсивности движения свыше 20000ед./сутки.

Начальный участок $L_{с1}$ сквозного распределительного проезда должен обеспечить смещение трассы среднего участка на величину 2,70м при отсутствии остановочной полосы и 5,20м при наличии этой полосы. В отдельных случаях может назначаться величина смещения b больше при веденных выше значений.

Схема ломанной трассы начального участка с таким смещением приведена на рисунке 2.9.2.

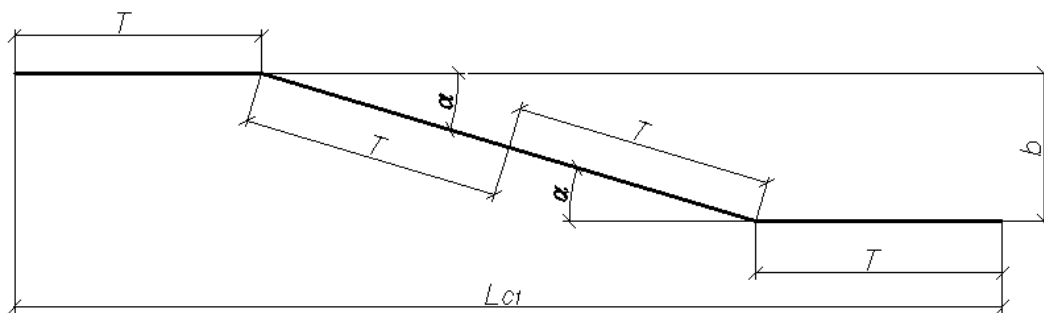


Рис.2.9.2. Схема ломанной трассы начального участка сквозного распределительного проезда.

Угол α поворота трассы должен составлять не менее 3° , с целью обеспечения зрительной плавности трассы и во избежание ошибок при выборе направления движения.

В переломы трассы (рис.2.9.2) вписывают горизонтальные круговые кривые радиусом R . Радиус R принимается по ТКП 509–2014 не менее 1000м, что позволяет сохранить поперечный уклон проезжей части сквозного распределительного проезда одинаковым с поперечным уклоном транзитных полос на всем протяжении сквозного распределительного проезда. Этот уклон принимают равным 0,025.

Величину угла α определяют из схемы ломанной трассы, приведенной на рисунке 2.9.2. По этой схеме тангенсы углов поворота ломанной трассы вычисляют по формулам (2.9.1 и 2.9.2):

$$\begin{cases} T = R \cdot \operatorname{tg}(\alpha/2) \\ 2T = b / \sin \alpha \end{cases} \quad (2.9.1), (2.9.2)$$

Решение системы уравнений (2.9.1 и 2.9.2) выполняют следующим образом. Значение тангенса T определенное по формуле (2.9.1) подставим в формулу (2.9.2), и получим выражение (2.9.3):

$$\operatorname{tg}(\alpha/2) \cdot \sin \alpha = \frac{b}{2R} \quad (2.9.3)$$

В формуле (2.9.3) для функции $\sin \alpha$ применим формулу двойного угла (2.9.4):

$$\operatorname{tg}(\alpha/2) \cdot 2\sin(\alpha/2) \cdot \cos(\alpha/2) = \frac{b}{2R} \quad (2.9.4)$$

Так как $\operatorname{tg}(\alpha/2) = \sin(\alpha/2)/\cos(\alpha/2)$, то формула(2.9.4) примет вид:

$$2\sin^2(\alpha/2) = \frac{b}{2R} \quad (2.9.5)$$

К выражению (2.9.5) применяем формулу понижения степени:

$$\sin^2(\alpha/2) = \frac{1 - \cos \alpha}{2} \quad (2.9.6)$$

Подставим формулу (2.9.6) в выражение (2.9.5) и получим решение уравнений (2.9.1 и 2.9.2) в виде формулы (2.9.7):

$$\alpha = \arccos\left(1 - \frac{b}{2R}\right), \quad (2.9.7)$$

где R – радиус круговой кривой ($R=1000\text{м}$);

b – смещение трассы СРП.

При смещении $b = 2,70\text{м}$ по формуле (2.9.2) угол α поворота трассы равен $4,13^\circ$.

Длина начального участка при известном угле α (рис.2.9.2) определяется по формуле (2.9.8):

$$L_{c1} = 4R \cdot \operatorname{tg}(\alpha/2) \quad (2.9.8)$$

При $b = 2,70\text{м}$ и $\alpha = 4,13^\circ$ длина начального участка сквозного распределительного проезда:

$$L_{c1} = 4 \cdot 1000 \cdot \operatorname{tg}(4,13^\circ/2) = 145 \text{ м.}$$

Положение конца начального участка соответствует положению на дороге **m** начала трассы отмыкающего ППО(рис.2.9.3).

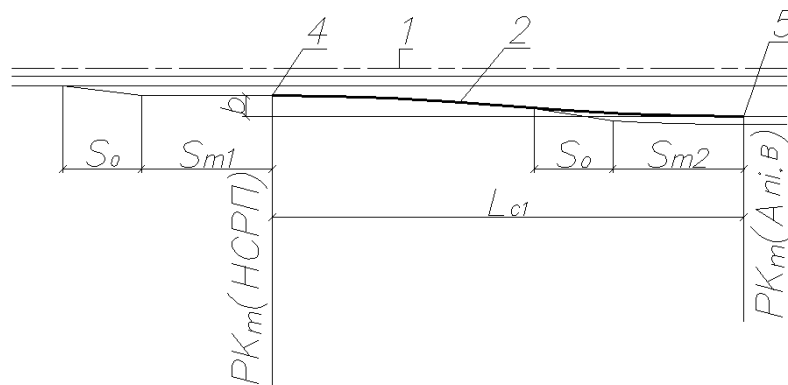


Рис.2.9.3. Схема обоснования положения начального участка сквозного распределительного проезда: 1,2 – оси дороги начального участка сквозного распределительного потока; 4,5 – начало и конец начального участка сквозного распределительного проезда.

Начало начального участка сквозного распределительного проезда является также началом всего сквозного распределительного проезда. Пикетное положение на дороге **m** начала сквозного распределительного проезда определяется по формуле (2.9.9):

$$PK_m(\text{НСРП}) = PK_m(\text{Апi.в}) \pm L_{c1}. \quad (2.9.9)$$

где $PK_m(A_{i,B})$ – пикетное положение на дороге **m** начала трассы отмыкающего ППО;
 L_{c1} – длина начального участка сквозного распределительного проезда.

Концевой участок сквозного распределительного потока предназначен для уменьшения смещения сквозного распределительного проезда относительно транзитных полос проезжей части.

Концевой участок сквозного распределительного проезда проектируют аналогично начальному участку. В начале определяют по формуле (2.9.7) величину угла поворота α ломаной трассы концевого участка. Вычисляют длину концевого участка L_{c2} по формуле (2.9.8).

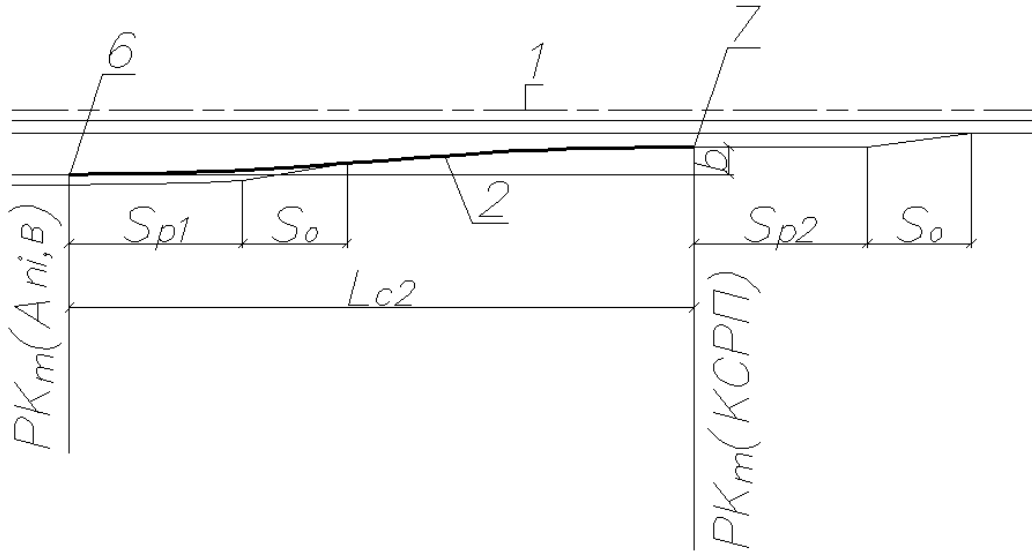


Рис.2.9.4. Схема обоснования положения концевого участка сквозного распределительного проезда: 1,2 – оси дороги начального участка сквозного распределительного потока; 6,7 – начало и конец начального участка сквозного распределительного проезда.

Пикетное положение начала концевого участка соответствует пикетному положению конца трассы примыкающей к сквозному распределительному проезду правоповоротного соединительного ответвления (рис.2.9.4).

Пикетное положение на дороге **m** начала сквозного распределительного проезда определяется по формуле (2.9.9), конца сквозного распределительного проезда определяется по формуле (2.9.10):

Пикетное положение на дороге **m** конца сквозного распределительного проезда определяется по формуле (2.9.10):

$$PK_m(КСРП) = PK_m(A'_{ni,B}) \pm L_{c2}, \quad (2.9.10)$$

где $PK_m(A'_{ni,B})$ – пикетное положение на дороге **m** начала трассы отмыкающего ППО;

L_{c2} – длина концевого участка сквозного распределительного проезда.

В формулах (2.9.9) и (2.9.10.) знаки «+» или «-» принимают в зависимости от направления пикетажа на сплошном распределительном проезде.

Разбивка закруглений обычно выполняются методом прямоугольных координат для каждого угла поворота трассы. Для двух углов поворота используют четыре системы прямоугольных координат. В связи с тем, что параметры закруглений одинаковы, то разбивку S-образной кривой с обратными радиусами проще выполнять, используя параболическую кривую, схема которой представлена на рисунке 2.9.5.

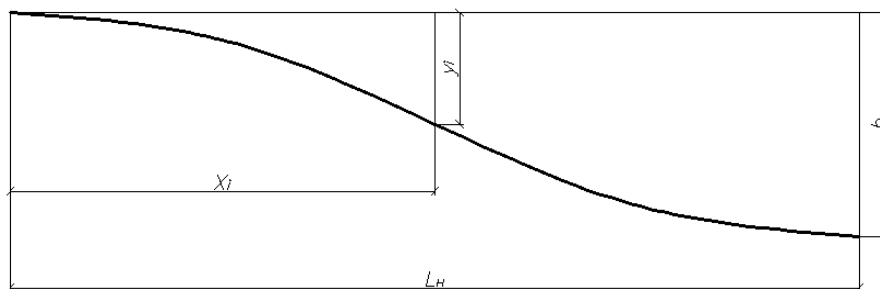


Рис. 2. 9.5. Схема параболической кривой.

Относительные координаты параболической кривой представлены в таблице 2.9.1.

Таблица 2. 9.1

Данные для расчета параболической кривой

| x_i/L_c | e_i | x_i/L_n | e_i | x_i/L_k | e_i |
|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| 0,00 | 0,000 | 0,35 | 0,245 | 0,70 | 0,820 |
| 0,05 | 0,005 | 0,40 | 0,320 | 0,75 | 0,875 |
| 0,10 | 0,020 | 0,45 | 0,405 | 0,80 | 0,920 |
| 0,15 | 0,045 | 0,50 | 0,500 | 0,85 | 0,955 |
| 0,20 | 0,080 | 0,55 | 0,595 | 0,90 | 0,980 |
| 0,25 | 0,125 | 0,60 | 0,680 | 0,95 | 0,995 |
| 0,30 | 0,180 | 0,65 | 0,755 | 1,00 | 1,000 |

В зоне сплошного распределительного проезда предусматривают полосы торможения S_{m1} , S_{m2} и разгона S_{p1} , S_{p2} .

Начальный участок сквозного распределительного проезда начинается с конца полосы торможения S_{m1} (рис 2.9.3), а конечной участок заканчивается в начале полосы разгона S_{p2} (рис.2.9.4). Полосы торможения S_{m1} и полосы разгона S_{p1} сопрягают сквозной распределительный проезд с транзитной полосой проезжей части дороги. Полосы торможения S_{m2} и полосы разгона S_{p2} сопрягают отмыкающие от дороги m и примыкающие к ней ППО со сквозным распределительным проездом. Длину полос торможения S_{m1} и полос разгона S_{p2} определяют по графику (рис.2.5.1), принимая расчетную скорость движения на сквозном распределительном проезде равной 80км/час. Скорость движения в начале полосы торможения и в конце полосы разгона принимают по таблице (2.5.1) в зависимости от расчетной скорости на дороге m .

При определении длины полосы торможения S_{m2} принимают скорость движения в начале полосы равной 80км/час, а в конце полосы торможения равной расчетной скорости на ППО. При определении длины полосы разгона S_{p1} принимают скорость в начале полосы разгона равной расчетной ППО и в конце полосы разгона равной 80км/час.

2.10. Разбивка плана трассы транспортной развязки «полный клеверный лист»

План трассы ТР ПКЛ включает оси пересекающихся дорог, оси полос движения этих дорог, оси сквозного распределительного проезда, оси ЛПО и ППО.

Оси пересекающихся дорог закреплены на местности во время изысканий.

Оси прямолинейных полос движения параллельны осям дорог. Расстояние между этими осями известны, и оси могут быть легко вынесены на местность.

2.10.1. Разбивка трассы левоворотных соединительных ответвлений с использованием GPS

Трасса ЛПО состоит из переходной кривой L, круговой кривой K_0 и переходной кривой L.

Разбивка *всей* трассы ЛПО целесообразно выполнять методом прямоугольных координат. В связи с этим предпочтительным является применение метода прямоугольных координат (рис. 2.10.1).

Для выноски трассы ЛПО на местности используют шесть систем локальных прямоугольных координат.

Переходная кривая АВ выносится в системе прописных X_1Y_1 , переходная кривая А'В' в системе X_6Y_6 . Круговая кривая K_0 делится на четыре части: ВС, ССО, СОС' и С'В'. Эти участки круговой кривой выносятся в локальных системах координат X_2Y_2 , X_3Y_3 , X_4Y_4 , X_5Y_5 .

Начало координат локальных систем $X_1Y_1 - X_6Y_6$ находятся в точках А, В, СО, В', А'.

Пикетное положение точек А, В, СО, В', А' в пикетаже ЛПО (рис. 2.10.1):

$$\begin{aligned} \text{РКЛПО}(А) &= 0-00; \\ \text{РКЛПО}(В) &= L; \\ \text{РКЛПО}(СО) &= L + K_0/2; \\ \text{РКЛПО}(В') &= L + K_0; \\ \text{РКЛПО}(А') &= L + K_0 + L. \end{aligned}$$

Пикетное положение точек С и С' (рис. 2.10.1), являющимися границей между участками выносимой круговой кривой K_0 , определяются по формулам:

$$\text{РКЛПО}(С) = L + K_0/4; \quad \text{РКЛПО}(С') = L + K_0/2.$$

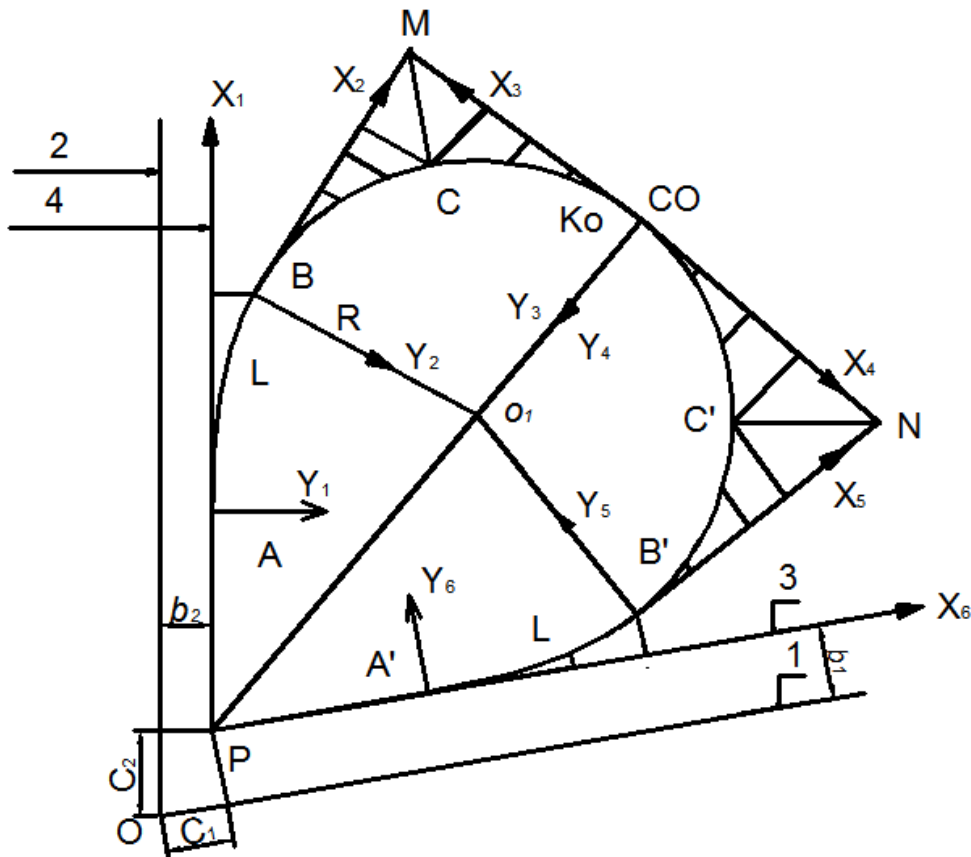


Рис. 2.10.1. Схема разбивки ЛПО методом прямоугольных координат с использованием системы GPS: 1,3 – оси пересекающихся дорог; 2 – ось полосы, с которой начинается ЛПО; 4 – ось полосы, на которой заканчивается ЛПО.

Локальные координаты выносимых точек на переходной кривой в системах X_1Y_1 и X_6Y_6 определяются по формулам (2.10.1):

$$X_i = S_i - S_i^5 / (40(R \cdot L)^2); \quad Y_i = S_i^3 - S_i^7 / (336(RL)^3). \quad (2.10.1)$$

где S_i – расстояние от начала координат системы X_1Y_1 или X_6Y_6 до выносимой точки плана трассы ЛПО.

Локальные координаты выносимых точек в системах $X_2Y_2 - X_5Y_5$ вычисляются по формулам (2.10.2) для круговой кривой K_0 :

$$X_i = R \cdot \sin(K_i / R); \quad Y_i = R - R \cos(K_i / R). \quad (2.10.2)$$

где K_i – расстояние от начала координат используемой системы до выносимой точки.

Результаты расчета координат X_i и Y_i сводят в таблицу 2.10.1

Таблица 2.10.1

| Пикетное положение точки | Системы координат | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|-------------------|---|----------|---|----------|---|----------|---|----------|---|----------|---|--|
| | X_1Y_1 | | X_2Y_2 | | X_3Y_3 | | X_4Y_4 | | X_5Y_5 | | X_6Y_6 | | |
| | x | y | x | y | x | y | x | y | x | y | x | y | |
| | | | | | | | | | | | | | |

При использовании традиционных геодезических приборов для разбивки ЛПО методом прямоугольных координат сложным является определение положения на местности начала координат, направления осей X_i .

В настоящее время в геодезических работах широко используется спутниковая система GPS для определения глобальных координат точек на местности. Эта система позволяет определить на местности положение точек А, В, М, СО, N, В', А' и Р (рис. 2.10.1).

Проектирование плана трассы транспортной развязки выполняют с использованием программного продукта «AutoCAD». Применение этого продукта позволяет определить глобальные координаты X_0 и Y_0 точек А, В, М, СО, N, В', А' и Р на плане трассы ЛПО и вынести их на местность с использованием GPS.

Составляется ведомость глобальных координат для каждого ЛПО в виде таблицы 2.10.2.

Таблица 2.10.2.

| Точки | А | В | М | СО | N | В' | А' | Р |
|----------|---|---|---|----|---|----|----|---|
| $X_0, м$ | | | | | | | | |
| $Y_0, м$ | | | | | | | | |

2.10.2. Разбивка трассы правоповоротных соединительных ответвлений

Разбивка ЛПО аналогична разбивке плана трассы автомобильной дороги и выполняется в локальных системах прямоугольных координат относительно ломаной трассы А–ВУ1–ВУ2–А' (рис. 2.10.2).

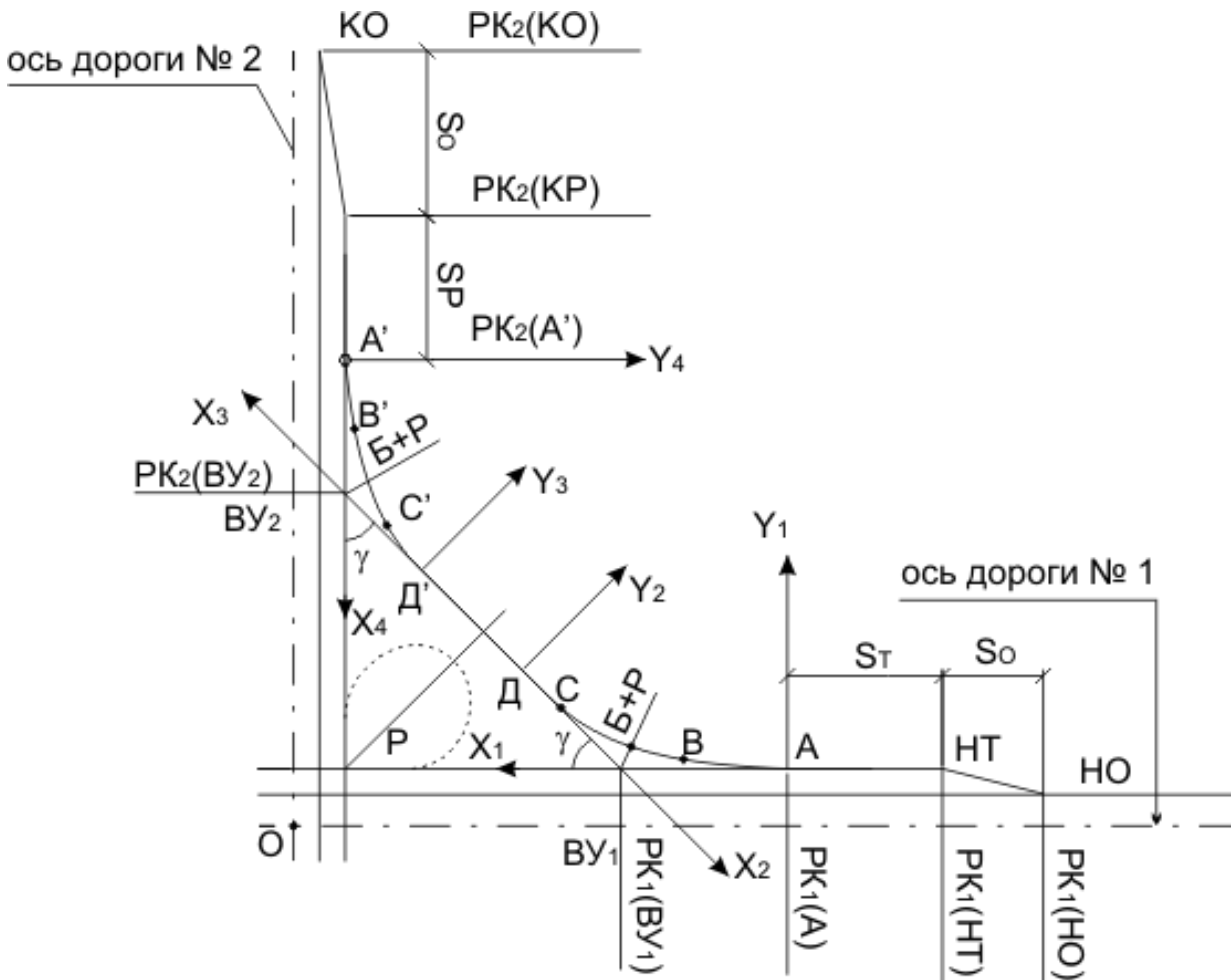


Рис. 2.10.2. Схема разбивки ППО методом прямоугольных координат.

Положение ломаной трассы ППО на местности определяют глобальные координаты x_0, y_0 точек A, B, U_1, U_2 и A'. Данные о координатах этих точек получают при проектировании плана трассы ТР ПКЛ в системе «AutoCAD».

Закругления малого радиуса на B, U_1 и B, U_2 выносят на местность в двух системах локальных координат. Начало координат x_1, y_1 размещают в начале переходной кривой (в точке A). Начало локальных координат x_2, y_2 , используемых для разбивки закругления на B, U_1 после его середины, размещают в конце первого закругления (в точке D).

Закругление малого радиуса на B, U_2 аналогичным образом разбивается в системе x_3, y_3 до середины закругления и в системе x_4, y_4 после середины.

Расчет локальных координат x_i, y_i при расположении точки i на переходной кривой выполняют по формулам (2.10.3) и (2.10.4). В случае, если точка i находится на круговой кривой, следующей за переходной кривой длиной L , координаты x и y вычисляются по формулам:

$$x = t + R \sin[(S - 0,5L)/(\pi R)180]; \quad (2.10.3)$$

$$y = p + R - R \cos[(S - 0,5L)/(\pi R)180], \quad (2.10.4)$$

где t, p – смещение и сдвигка, вычисляются по формулам (2.4.2 и 2.4.3);

S – расстояние от начала координат до выносимой точки.

2.10.3. Определение длин полос торможения и разгона

На дорогах I, II и III категории ППО начинается с полосы торможения длиной S_T (рис.2.10.2) и заканчивается полосой разгона S_R (рис.2.10.2). Полосы торможения и разгона сопрягаются с основными полосами пересекающихся дорог отгонами полос длиной S_0 .

Длина полос торможения и разгона определяется по графику (рис.2.5.1). Методика определения длин полос торможения и разгона изложена в §2.5.1.

2.10.4. Поперечные профили проезжей части ППО.

Ширина проезжей части однопутного ППО 4,50м, ширина обочин 1,75м и укрепленные полосы предусматриваются шириной 0,25м. Длина ППО равна расстоянию между точкой k разделения кромок проезжих частей ППО и соседней полосы дороги и точкой k' соединения этих кромок. Если длина ППО более 500м, то независимо от интенсивности движения назначают две полосы движения с уширением проезжей части в соответствии с радиусом круговой кривой.

Поперечный уклон проезжей части ППО на участках (рис.2.10.2):

Ак – общий с дорогой 1, равный поперечному уклону дороги ($i_n = 20\%$ на двухполосных дорогах и $i_n = 25\%$ на многополосных дорогах);

кВ – переход от уклона i_n до уклона виража i_v ;

ВС – вираж с уклоном i_v ;

СД – переход от i_v до i_n , равен 25% ;

ДФД' – однокатный с $i_n = 25\%$ в сторону от ЛПО;

Д'С' – переход от $i_n = 25\%$ до i_v ;

С'В' – вираж с уклоном i_v ;

В'к' – переход от i_v до i_n ;

к'А' – общий с дорогой 2, равный i_n .

2.11. Проектирование дорожных ограждений на транспортной развязке «клеверный лист»

2.11.1. Общие сведения о дорожных ограждениях

На транспортной развязке «клеверный лист» проектируют дорожные ограждения для транспортных средств.

Они классифицируются по деформационной характеристике и материалу изготовления:

- деформируемые [металлические, канатные, парапетные (железобетонные)];
- недеформируемые парапетные (железобетонные).

На автомобильных дорогах общего пользования и улицах населенных пунктов применяются ДО по уровням удерживающей способности согласно таблице 2.11.1.

Таблица 2.11.1.

Уровни удерживающей способности ДО

| Уровень | У1 | У2 | У3 | У4 | У5 | У6 | У7 | У8 | У9 | У10 |
|---|-------|-----|-----|-------|-----|-----|-------|-----|-------|-----|
| Удерживающая способность, кДж, не менее | 126,6 | 190 | 250 | 287,5 | 350 | 400 | 462,1 | 500 | 572,0 | 600 |

2.11.2 Выбор мест установки и определение степени удержания дорожных ограждений вне населенных пунктов

На мостовых сооружениях (путепроводах), расположенных на автомобильных дорогах вне населенных пунктов, сложность дорожных условий и требуемый уровень удерживающей способности определяют по таблицам 2.11.2 и 2.11.3.

Таблица 2.11.2.

Определение сложности дорожных условий на мостовых сооружениях автомобильных дорог вне

населенных пунктов

| Категория дороги | Сложность дорожных условий | | | | | |
|---------------------|----------------------------|----------------|------------------|---------|----------------|----------------|
| | 1-ам | | 2-ам | | 3-ам | |
| | R, м, более | i, ‰, менее | R, м | i, ‰ | R, м, менее | i, ‰, более |
| I-a | 3 000 | 20 | 2 000 – 3 000 | 20 – 30 | 2 000 | 30 |
| I-б – I-в | 2 000 | | 1 200 – 2 000 | | 1 200 | |
| II | 2 000 | 40 | 1 200 – 2 000 | 30 – 40 | 1 200 | 40 |
| III | 2 000 | 30 | 800 – 2 000 | 30 – 40 | 800 | 40 |
| IV | 2 000 | 30 | 800 – 2 000 | 30 – 40 | 800 | 40 |
| V – VI-a (VI-б) | 500 | 40 | 100 – 500 | 40 – 50 | 600 | 50 |

Примечания
1 На мостовом сооружении и примыкающих к нему участках подходов протяженностью по 100 м выбирают наименьшее значение радиуса кривой в плане R и наибольшее значение продольного уклона i.
2 Если значения радиуса и продольного уклона окажутся в разных группах, принимают группу с более сложными условиями движения.

Таблица 2.11.3

Степень удержания ДО на мостовых сооружениях автомобильных дорог вне населенных пунктов

| Категория дороги | Мостовое сооружение автомобильной дороги | | | | | |
|------------------|--|------|------|---|------|------|
| | с тротуарами или служебными проходами | | | без тротуаров или служебных проходов | | |
| | Сложность дорожных условий | | | | | |
| | 1-ам | 2-ам | 3-ам | 1-ам | 2-ам | 3-ам |
| | Уровень удерживающей способности | | | | | |
| I-a | У5 | У6 | У8 | У6 | У7 | У9 |
| I-б – I-в | У4 | У5 | У7 | У5 | У6 | У8 |
| II | У3 | У4 | У5 | У4 | У5 | У6 |
| III – IV | У2 | У3 | У4 | У3 | У4 | У5 |

Минимальные значения уровней удерживающей способности ДО, устанавливаемых на соединительных ответвлениях пересечений и примыканий автомобильных дорог в разных уровнях, принимают равными:

- У3 – для ДО, устанавливаемых на правоповоротных соединительных ответвлениях с одной полосой движения;
- У4 – для ДО, устанавливаемых на правоповоротных соединительных ответвлениях с двумя полосами движения и на отнесенных левоповоротных соединительных ответвлениях развязок типа «клеверный лист»;
- У5 – для ДО, устанавливаемых на прямых левоповоротных соединительных ответвлениях.

На автомобильных дорогах вне населенных пунктов (кроме участков, проходящих по мостовым сооружениям и соединительным ответвлениям) выбор мест установки ДО, определение сложности дорожных условий и требуемого уровня удерживающей способности выполняется по таблицам 2.11.4 – 2.11.6.

Таблица 2.11.4.

Определение сложности дорожных условий на автомобильных дорогах вне населенных пунктов

| Сложность дорожных условий | Место установки дорожных ограждений |
|--|---|
| 1 | 2 |
| 1-а | <p>На разделительной полосе шириной менее 5,0 м, расположенной в одном уровне с проезжей частью, на которой отсутствуют массивные препятствия *</p> <p>На обочинах автомобильных дорог, проходящих вдоль болот, водных потоков или водоемов глубиной более 2,0 м и оврагов, находящихся на расстоянии от 15,0 до 25 м от края проезжей части</p> <p>На обочинах автомобильных дорог, проложенных вдоль железнодорожных путей на расстоянии от 15,0 до 25 м от края проезжей части автомобильных дорог, кроме участков, расположенных выше уровня проезжей части дорог более 0,5 м</p> <p>На обочинах и разделительной полосе дорог, проходящих на подходах к мостовым сооружениям при высоте насыпи менее указанной в таблице 13, на автомобильных дорогах, по геометрическим параметрам соответствующих категориям V – VI-а (VI-б), II – IV, I-а – I-в, протяженностью 12, 18 и 24 м соответственно без учета начальных и конечных участков</p> <p>На обочинах дорог, проходящих на насыпи с откосами круче 1 : 3, при условиях, указанных в таблице 2.11.5</p> <p>На проезжей части дорог для разделения транспортных потоков встречных направлений на УКДТП</p> |
| 2-а | <p>На разделительной полосе шириной менее 5,0 м, на которой отсутствуют массивные препятствия, если интенсивность движения автомобилей, имеющих разрешенную максимальную массу не менее 30,0 т, составляет не менее 1000 авт./сут *</p> <p>На обочинах дорог, расположенных на участках с насыпью высотой 5 м и более</p> <p>На обочине дорог, расположенных на склоне местности круче 1 : 3</p> <p>На обочине дорог, проложенных вдоль болот, водных потоков или водоемов глубиной более 2,0 м и оврагов, находящихся на расстоянии менее 15,0 м от края проезжей части</p> <p>На обочинах автомобильных дорог, проложенных вдоль железнодорожных путей на расстоянии менее 15,0 м от края проезжей части автомобильных дорог, кроме участков, расположенных выше уровня проезжей части дорог более 0,5 м</p> <p>На разделительной полосе и обочинах дорог, на которых массивные препятствия (консольные и рамные опоры информационно-указательных знаков, опоры освещения и связи, деревья диаметром более 0,1 м и т. п.) расположены на расстоянии 4,0 м и менее от кромки проезжей части и на которых имеются одностоечные или двустоечные опоры путепроводов сечением менее 1,0 м независимо от их расстояния до кромки проезжей части</p> |
| * В ширину разделительных полос включается ширина укрепительных полос. | |

Таблица 2.11.5.

Условия отнесения участков автомобильных дорог вне населенных пунктов по сложности дорожных условий к группе 1-а

| Участки автомобильной дороги вне населенных пунктов | Продольный уклон дороги, ‰ | Высота насыпи, м, при перспективной * интенсивности движения, авт./сут, не менее | |
|---|----------------------------|--|-------|
| | | 100 ** | 2 000 |
| Прямолинейные и с кривыми в плане радиусом более 600 м. С внутренней стороны кривой в плане радиусом менее 600 м на спуске и после него на участке длиной 100 м | До 40 | 4,0 | 3,0 |
| Прямолинейные и с кривыми в плане радиусом более 600 м. С внутренней стороны кривой в плане радиусом менее 600 м на спуске и после него на участке длиной 100 м | 40 и более | 3,5 | 2,5 |
| С внешней стороны кривой в плане радиусом менее 600 м на спуске и после него на участке длиной 100 м | До 40 | | |
| С внешней стороны кривой в плане радиусом менее 600 м на спуске и после него на участке 100 м | 40 и более | 3,0 | 2,0 |
| На вогнутой кривой в продольном профиле, сопрягающей участки с абсолютным значением алгебраической разности встречных уклонов 50 ‰ и более | – | – | – |
| * Перспективная интенсивность движения на пятилетний период. ** При наличии на дороге движения маршрутных транспортных средств ограждения устанавливаются аналогично условиям, соответствующим интенсивности движения 2000 авт./сут и более. | | | |

Таблица 2.11.6.

Уровень удерживающей способности ДО на автомобильных дорогах вне населенных пунктов

| Участки автомобильной дороги | Продольный уклон дороги, ‰ | Сложность дорожных условий | Геометрические параметры дороги, соответствующие категориям по ТКП 45.3.03-19 | | | | | |
|---|----------------------------|----------------------------|---|----------|------------|---------------------|----|---------------|
| | | | I-a, I-б, I-в | | II | III | IV | V-VI-a (VI-б) |
| | | | 6 полос и более | 4 полосы | 2-3 полосы | 2 полосы (1 полоса) | | |
| Уровень удерживающей способности | | | | | | | | |
| Обочины прямолинейных участков дорог и с кривыми в плане радиусом более 600 м | До 40 | 1-а | У4 | У3 | У2 | | У1 | |
| | | 2-а | У5 | У4 | У3 | | У2 | |
| Обочина с внутренней стороны кривой в плане радиусом менее 600 м на спуске и после него на участке длиной 100 м | 40 и более | 1-а | У5 | У4 | У3 | У2 | У1 | |
| | | 2-а | У6 | У5 | У4 | У3 | У2 | |
| Обочина с внешней стороны кривой в плане радиусом менее 600 м на спуске и после него на участке длиной 100 м | До 40 | 1-а | У5 | У4 | У3 | У2 | У1 | |
| | | 2-а | У6 | У5 | У4 | У3 | У2 | |
| Обочина с внешней стороны кривой в плане радиусом менее 600 м на спуске и после него на участке длиной 100 м | 40 и более | 1-а | У6 | У5 | У4 | У3 | У2 | |
| | | 2-а | У7 | У6 | У5 | У4 | У3 | |
| Обочины на вогнутой кривой в | – | 1-а | У5 | У4 | У3 | У2 | У1 | |

| Участки автомобильной дороги | Продольный уклон дороги, ‰ | Сложность дорожных условий | Геометрические параметры дороги, соответствующие категориям по ТКП 45.3.03-19 | | | | | |
|---|----------------------------|----------------------------|---|----------|--------------|---------------------|----|---------------|
| | | | I-a, I-б, I-в | | II | III | IV | V-VI-a (VI-б) |
| | | | 6 полос и более | 4 полосы | 2 – 3 полосы | 2 полосы (1 полоса) | | |
| продольном профиле, сопрягающей участки с абсолютным значением алгебраической разности встречных уклонов 50 ‰ и более | | | Уровень удерживающей способности | | | | | |
| | | | 2-а | У6 | У5 | У4 | У3 | У2 |
| Разделительная полоса | – | | 1-а | У5 | У4 | – | | |
| | | | 2-а | У6 | У5 | | | |
| <i>Примечание</i> – Уровень удерживающей способности ДО, устанавливаемого на проезжей части для разделения транспортных потоков встречных направлений, – не менее У4. | | | | | | | | |

2.11.3. Правила установки деформируемых дорожных ограждений.

При отсутствии тротуара или пешеходной дорожки увеличенный на 0,25м прогиб дорожного ограждения, устанавливаемого на обочине, не должен превышать расстояние от лицевой стороны недеформированного дорожного ограждения до бровки дорожного полотна (рис.2.11.1).

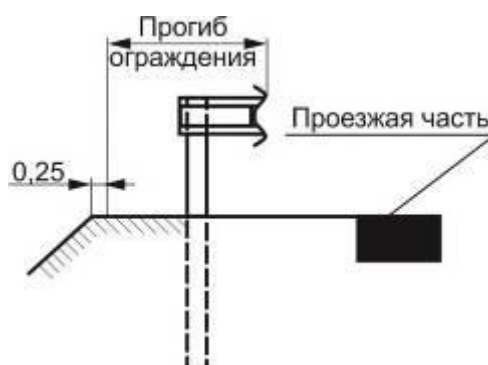


Рис.2.11.1. Расположение деформируемого дорожного ограждения на обочине

Рабочая ширина ограждения – расстояние от положения лицевой стороны недеформированного ограждения до тыльной стороны его после наезда автомобиля. Рабочая ширина ограждения включает ширину ограждения и его прогиб.

Рабочая ширина дорожного ограждения не должна превышать расстояние от лицевой поверхности дорожного ограждения до массивного препятствия (рис.2.11.2), находящегося на обочине или за ее пределами на расстоянии менее 4 м от кромки проезжей части.

Рис.2.11.4. Расположение недеформируемого дорожного ограждения на разделительной полосе.



Рис.2.11.5. Расположение недеформируемого дорожного ограждения возле массивного препятствия.

2.11.5. Элементы дорожных ограждений

Металлические ограждения состоят из начального, рабочего и конечного участков.

Рабочий участок металлического ограждения состоит из стальных балок специального профиля, которые крепятся к стойкам.

На рисунке 2.11.6 показано барьерное ограждение с одной балкой. Для увеличения энергии удержания могут предусматривать две или три балки.

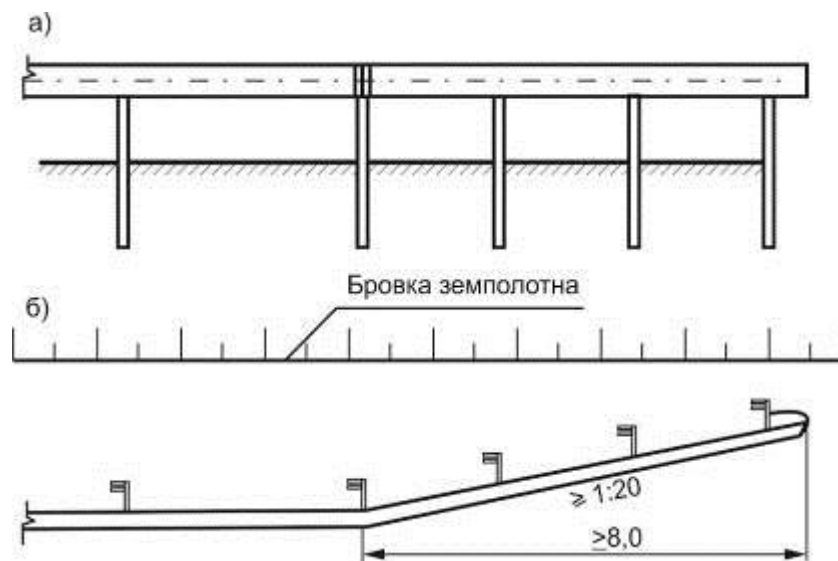


Рис.2.11.6. Схема одностороннего барьерного ограждения с одной балкой: а) вид сбоку; б) план

На двухполосных дорогах с двухсторонним движением металлические ограждения начинаются и заканчиваются начальным участком, так как возможен наезд на ограждение автомобиля со встречного направления. На дорогах I категории, на однопутных соединительных ответвлениях односторонние ограждения, устанавливаемые на обочине, заканчиваются конечным участком.

Начальный и конечный участки односторонних металлических и парапетных дорожных ограждений, устанавливаемых на обочине, на протяжении не менее 8,0 м устраивают с отгоном к бровке земляного полотна в соотношении 1:20 (начальный участок) и от 1:10 до 1:20 (конечный участок).

Парапетные дорожные ограждения допускается устраивать без отгона в плане, если оно сопрягается с бортовым камнем. В этом случае начальный и конечный участки ограждения должны быть понижены до верха бортового камня с отгоном от 1:5 до 1:15, при этом высота торцевой части ограждения начального и конечного участков должна быть не более 0,18 м.

При необходимости возможно уширение обочин в соответствии с ТКП 45-3.03-19.

Для снижения тяжести последствий от наездов транспортных средств торцевая поверхность начального участка металлического и парапетного дорожного ограждения должна оканчиваться концевым элементом. Пример конструкции концевой элемента закругленной формы приведен на рисунке 2.11.7.

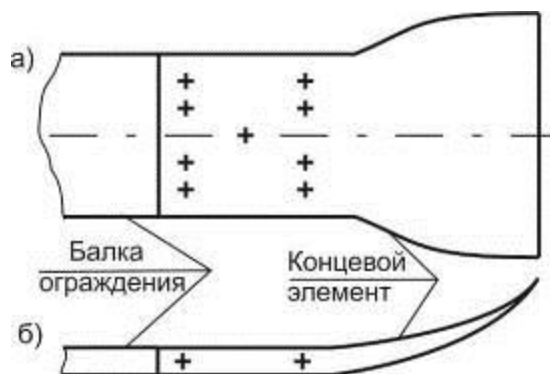


Рис. 2.11.7. Конструкция концевой элемента начального участка дорожного ограждения.
а) вид сбоку; б) план

Конечный участок металлического дорожного ограждения, установленного на обочине, на автомобильных дорогах категорий I-а, I-б, I-в конструктивно может быть понижен до поверхности дороги с отгоном 1:15 (рис.2.11.8).

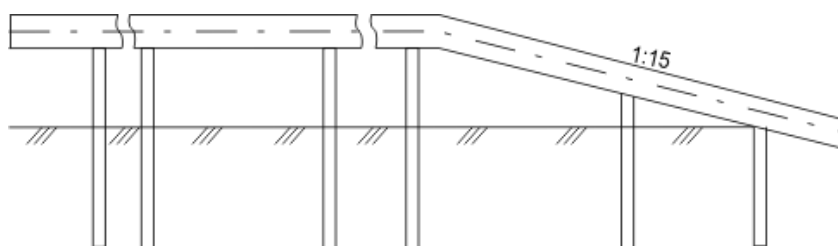


Рис. 2.11.8.Схема сопряжения конечного участка ограждения, установленного на обочине на дорогах I категории.

2.11.6. Проектирование металлического ограждения в зоне разветвления и слияния потоков

В зоне разветвления и слияния потоков ограждения на дороге между сечениями, проходящими через точки А или А' и Н или Н' (рисунок 2.11.9.), прерываются.

Если по условиям, приведенным в таблице 2.11.3, необходимо проектировать барьерные ограждения по основной дороге и по соединительному ответвлению, то на внешней обочине это ограждение начинается в сечении, проходящем через точку n (рисунок 2.11.9). Сопряжение ограждений на дороге и внешней обочине соединительного ограждения осуществляется с помощью криволинейной балки радиусом 0,8 м.

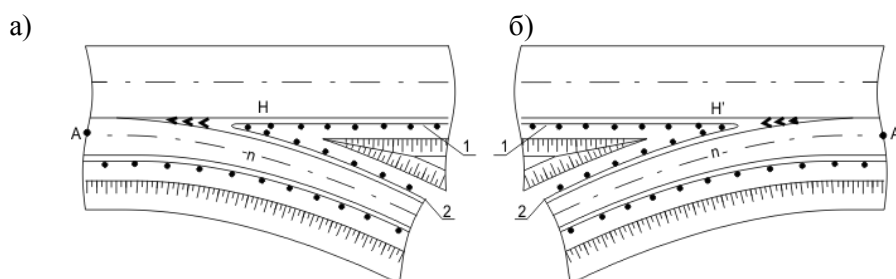


Рис.2.11.9. Сопряжение ограждений:

a – в зоне разветвления потоков; b – в зоне слияния потоков;
 $1, 2$ – ограждения на дороге и на соединительном ответвлении.

2.11.6.1. Проектирование ограждений в зоне разветвления и слияния потоков на ЛПО, ППО без переходно-скоростных полос

Для проектирования ограждения по дороге и на соединительном ответвлении необходимо определить положение точек H и n (рис.2.11.10).

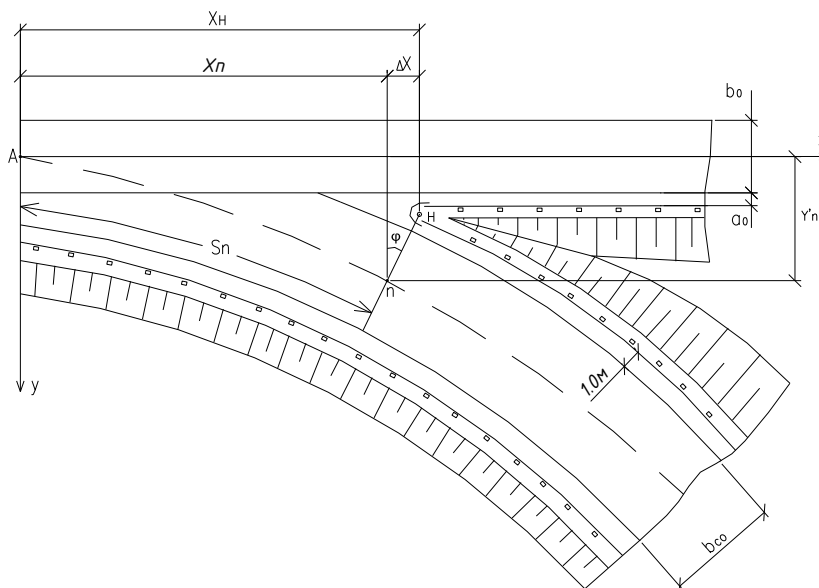


Рис.2.11.10. Схема к проектированию ограждений в зоне разветвления потоков на ЛПО и ППО без ПСП

Пикетное положение точки H на основной дороге № 1 в случае:

– разветвления потоков:

$$PK1(A) \pm X_H, \quad (2.11.1)$$

– слияния потоков:

$$PK1(A') \pm X'_H, \quad (2.11.2)$$

где $PK1(A)$, $PK1(A')$ – пикетное положение начала (точки A) или конца (точки A') соединительного ответвления;

X_H , X'_H – расстояние от точки A или A' до точки H по основной дороге (см. рисунок 2.11.10).

Пикетное положение точки n на соединительном ответвлении $PKCO(n)$ в случае:

– разветвления потоков

$$PKCO(H) = S_n, \quad (2.11.3)$$

– слияния потоков

$$PKCO(n) = PKCO(A') - S_n, \quad (2.11.4)$$

где $PKCO(A')$ – пикетное положение конца соединительного ответвления.

S_n – расстояние от начала (конца) соединительного ответвления (CO) до сечения на CO , в котором расположена точка H (см. рисунок 2.11.10);

Расстояния X_H и S_n определяют в такой последовательности.

Вначале устанавливают, точка n находится (см. рисунок 2.11.10) на круговой кривой или на переходной. Для этого вычисляют ориентировочное значение расстояния от оси X до точки n , т.е. величину V'_n .

По формуле (2.11.5а) с учетом (2.11.5б) и (2.11.5в), принимая угол φ (см. рисунок 2.11.10), равным углу β переходной кривой, определяют значение V'_n :

$$V'_n = M_1 + M_2 \cos \beta, \quad (2.11.5а)$$

$$M_1 = 0,5b + a_0 + z, \quad (2.11.5б)$$

$$M_2 = z + 1,0 + 0,5b_c, \quad (2.11.5в)$$

где β – угол переходной кривой ($\beta = 0,5L/R$);

b – ширина полосы движения по дороге;

a_0 – расстояние от кромки проезжей части до ограждения ($a_0 \geq 1,0$ м);

z – радиус криволинейной балки ($z = 0,8$ м);

b_c – ширина проезжей части однопутного соединительного ответвления;

1,0 – расстояние от ограждения до кромки проезжей части соединительного ответвления.

Полученное значение координаты V'_n сопоставляют с координатой V_b конца переходной кривой. Значение V_b вычисляемое по формуле (2.4.5).

Если $V'_n > V_b$, точка n находится на круговой кривой. Если $V'_n \leq V_b$, то точка n находится на переходной кривой.

Случай 1. Точка n расположена на круговой кривой.

Расстояние до точки n на соединительном ответвлении определяется по формуле (2.11.6), координата X_n (рисунок 2.11.10) – по формуле (2.11.7):

$$S_n = L + R \left(\arccos \frac{R + p - M_1}{M_2 + R} - \beta \right); \quad (2.11.6)$$

$$X_n = t + (R + M_2) \sin \left(\beta + \frac{S_n - L}{R} \right), \quad (2.11.7)$$

где p – сдвигка переходной кривой;

M_1, M_2 – параметры по формуле (2.11.5);

β – угол переходной кривой, в радианах ($\beta = L/2R$).

t – смещение начала закругления при введении переходной кривой, определено ранее ($t = L/2$).

Случай 2. Точка n (см. рисунок 2.11.10.) расположена на переходной кривой ($V'_n \leq V_b$).

Вначале вычисляют ориентировочное расстояние до точки n :

$$S_n = \sqrt[3]{6RLV'_n}. \quad (2.11.8)$$

Далее определяют радиус кривизны в точке n . На расстоянии S_n от начала переходной кривой L :

$$\rho_n = S_n / RL. \quad (2.11.9)$$

Угол между касательной к переходной кривой в точке n и оси X (рис.2.11.10)

$$\beta_n = S_n / (2\rho_n). \quad (2.11.10)$$

Корректируют величину V'_n по формуле (2.11.5), принимая $\beta = \beta_n$, вычисляют новое значение S_n по формуле (2.11.5) и величину X_n :

$$X_n = S_n - S_n^5 / (40R^2L^2). \quad (2.11.11)$$

Значение координаты X_n (см. рисунок 2.11.10)

$$X_H = X_n + M_2 \sin \beta_n, \quad (2.11.12)$$

где M_2 – по формуле (7.5в).

2.11.6.2. Проектирование ограждений в зоне разветвления и слияния потоков на ЛПО и ППО при наличии переходно-скоростных полос

В случае сопряжения ППО и дороги I, II, III категорий пикетное положение точек H и n на дороге и ППО вычисляют по формулам (2.11.1–2.11.4). Значение величин X_H и S_n (рисунок 2.11.11) вычисляют следующим образом.

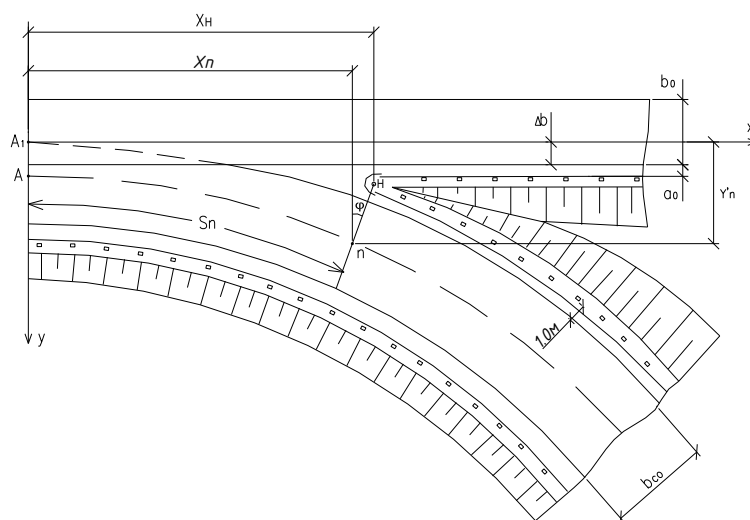


Рис.2.11.11. Схема к проектированию ограждений в зоне разветвления потоков на ППО при наличии ПСП

Начало координат XV помещают в начало кромки проезжей части CO , проведенной до сечения, проходящего через точку $A(A')$. Вычисляют ориентировочное значение расстояния от точки n до оси x (см. рисунок 2.11.2) по формулам (2.11.13), принимая $\varphi = \beta$:

$$Y'_n = M_3 + M_4 \cos \beta; \quad (2.11.13a)$$

$$M_3 = (b_c - b)/2 + c + a_0 + z; \quad (2.11.13б)$$

$$M_4 = z + 1,0. \quad (2.11.13в)$$

Обозначение величин в формулах (2.11.13) соответствует обозначению в формулах (2.11.5).

Полученное значение Y'_n сопоставляют с координатой Y_B конца переходной кривой, вычисленное ранее.

В случае, когда $Y'_n > Y_B$, точка n находится на круговой кривой и координаты X_H и S_n вычисляют по формулам

$$S_n = L + R(\arccos((R + p - M_3)/(M_4 + R)) - \beta); \quad (2.11.14)$$

$$X_H = t + (R + M_4) \sin(\beta + (S_n - L)/R), \quad (2.11.15)$$

где M_3, M_4 – по формуле (2.11.13);

β – в радианах ($\beta = L/(2R)$).

Если $Y'_n \leq Y_B$, то точка n находится на переходной кривой. Значения X_H и S_n вычисляют как в подпункте 2.11.6.1 (случай 2), принимая в формуле (2.11.12) вместо M_2 величину M_4 (см. формулу (2.11.13в)).

2.11.7. Последовательность проектирования ограждений

В курсовом проекте ограждения проектируют на дороге, проходящей в верхнем уровне на участке до или после путепровода, на левоповоротных соединительных ответвлениях, а также на правоповоротных, если они требуются по условиям, приведенным в таблице 2.11.4.

2.11.7.1. Последовательность проектирования ограждений на дороге, проходящей в верхнем уровне

В начале устанавливают пикетное положение начала или конца путепровода РК1(НП), пикетное положение начала (точка А), конца (точка А') на ЛПО РК1(АЛПО) и РК1(А'ЛПО), а также пикетное положение точек А и А' на ППО РК1(АППО) и РК1(А'ППО). Далее по таблице 2.11.4 и по данным продольного профиля дороги, проходящей в верхнем уровне, определяют пикетное положение начала рабочего участка ограждения РК1(НРУ) (пикетаж к путепроводу) или конца рабочего участка ограждения (пикетаж от путепровода) РК1(КРУ).

При использовании таблицы 2.11.4 в курсовом проекте следует принимать перспективную интенсивность движения на пятилетний период не менее 100авт./сут для дорог IV и V категорий и не менее 2000авт./сут для остальных категорий.

Вычисляют пикетное положение точек возможного сопряжения ограждения дороги № 1 с ППО (точки Н и Н'):

$$\text{РК1(НППО)} = \text{РК1(АППО)} \pm x_{\text{Н}}, \quad (2.11.16a)$$

$$\text{РК1(Н'ППО)} = \text{РК1(А'ППО)} \pm x_{\text{Н}'}, \quad (2.11.16б)$$

где $x_{\text{Н}}$, $x_{\text{Н}'}$ – расстояние от точки А или А' до точки Н или Н' по дороге № 1 вычисляется по методике, изложенной в пункте 2.11.6 (см. формулы 2.11.7, 2.11.7.12, 2.11.15).

Сопоставляют пикетные положения начала (конца) рабочего участка ограждения и точек Н, Н' на ППО.

Возможны 2 случая:

1 случай:

$$\text{РК1(НРУ)} \geq \text{РК1(НППО)} \text{ и } \text{РК1(НРУ)} \geq \text{РК1(Н'ППО)}$$

или

$$\text{РК1(КРУ)} \leq \text{РК1(НППО)} \text{ и } \text{РК1(КРУ)} \leq \text{РК1(Н'ППО)}.$$

В этом случае ограждения на ППО у дороги № 1 не предусматриваются.

На дороге № 1 в случае II, III, IV, V категорий перед рабочим участком проектируют начальный участок протяжением 8м. В случае дороги I категории начальный участок располагают до рабочего, а конечный – после рабочего.

Если расстояние от точки Н или Н' до начала (конца) рабочего участка меньше 8м, то для размещения начального (конечного) участка положение начала (конца) рабочего участка смещается к путепроводу на необходимую величину.

Степень удержания ограждений на дороге № 1 при высоте насыпи до 5м принимают для сложности дорожных условий 1-а по таблице 2.11.5. Если на дороге № 1 высота насыпи больше 5м, то сложность дорожных условий принимают 2-а и степень удержания ограждений увеличивается (см. таблицу 2.11.5).

Ограждения на дороге №1 прерываются в зоне сопряжения с ЛПО. Для этого вычисляют пикетное положение точки Н (см рисунки 2.11.10, 2.11.11) сопряжения ограждения на дороге № 1 и на ЛПО:

$$\text{РК1(НЛПО)} = \text{РК1(АЛПО)} \pm x_{\text{Н}}, \quad (2.11.17a)$$

$$\text{РК1(Н'ЛПО)} = \text{РК1(А'ЛПО)} \pm x_{\text{Н}'}, \quad (2.11.17б)$$

где $x_{\text{Н}}$, $x_{\text{Н}'}$ – расстояние от точки А или А' до точки Н или Н' по дороге № 1 (см. рисунки 2.11.10, 2.11.11);

«±» – зависят от направления пикетажа.

Величины $x_{\text{Н}}$ и $x_{\text{Н}'}$ определяются по методике, изложенной в пункте 2.11.6 по формуле (2.11.12).

На участке от точки А или А' ЛПО до начала (конца) путепровода проектируют рабочий участок ограждения со степенью удержания в соответствии с таблицей 2.11.5 для сложности дорожных условий 1-а, если высота до 5м, и 2-а, если высота больше $h_n > 5$ м.

2 случай:

РК1(НРУ)РК1(АППО) и РК1(НРУ)РК1(А'ППО) (2.11.18а)

или

РК1(КРУ)РК1(АППО) и РК1(КРУ)РК1(А'ППО). (2.11.18б)

В этом случае рабочий участок начинается до ППО (пикетаж к путепроводу) или заканчивается после ППО (пикетаж от путепровода).

На дороге № 1 в случае II, III, IV, V категорий перед рабочим участком проектируют начальный участок протяжением 12м. В случае I категории начальный участок располагают до рабочего и конечный после рабочего.

Если расстояние от точки Н или Н' до начала (конца) рабочего участка меньше 12м, то для размещения начального (конечного) участка положение начала (конца) рабочего участка смещается к путепроводу на необходимую величину.

Перед (после) ППО рабочий участок заканчивается (начинается) на РК1(АППО) или РК1(А'ППО). Если на ППО ограждение не требуется, то до (после) рабочего участка проектируют начальный (в точке А') и конечный (в точке А) участки, размещаемые на обочине ППО.

Если на ППО требуются ограждения, то рабочий участок ограждения на дороге № 1 стыкуется с рабочим участком ограждения, устанавливаемого на внутренней обочине ППО.

На дороге № 1 на РК1(НППО) и РК1(Н'ППО) начинается (заканчивается) начальный (конечный) участок ограждения длиной 12м, если на ППО ограждение не предусмотрено.

После начального (конечного) участка проектируют рабочий участок аналогично случаю 1.

Если на ППО предусмотрено ограждение, то от РК1(НППО) и РК1(Н'ППО) проектируют в сторону путепровода рабочий участок ограждения, который сопрягается с рабочим участком ограждения на ППО криволинейной балкой (рисунки 2.11.11, 2.11.12).

Рабочий участок после РК1(НППО) и РК1(Н'ППО) проектируют аналогично случаю 1.

2.11.7.2. Последовательность проектирования ограждений на ЛПО и ППО

На внутренней обочине ЛПО или ППО рабочий участок ограждения стыкуется с рабочим участком ограждения на дороге № 1 на РК1(АЛПО) и РК1(А'ЛПО), что соответствует РК ЛПО(А)=0+00 и РК ЛПО(А').

Положение конца (начала) рабочего участка определяется по таблице 2.11.4 и данным продольных профилей ЛПО или ППО. Интенсивность движения на ЛПО и ППО в курсовом проекте следует принять не менее 100авт./сут.

На внешней обочине рабочий участок ограждения проектируют от точки Н (Н') (см. рис. 2.11.11, 2.11.12), расположенной на расстоянии S_n от начала (конца) соединительного ответвления. Расстояние S_n определяют по методике, изложенной в пункте 2.11.6.

Положение конца (начала) рабочего участка ограждения на внешней обочине определяют по таблице 2.11.4 и данным продольных профилей ЛПО или ППО.

Рабочий участок ограждения на ЛПО на внутренней и внешней обочинах заканчивается конечным участком длиной 6м (ЛПО начинается в точке А) или начинается начальным участком длиной 8м (ЛПО заканчивается в точке А').

Степень удержания ограждений на ЛПО принимается равной У5.

Проектирование ограждений на ППО осуществляется аналогично как и на ЛПО.

Величина S_n , определяемая по формуле (2.11.11), будет отличаться от S_n , полученной для ЛПО.

Степень удержания ограждения на ППО принимается равной У3 для однополосных и У4 для двухполосных ППО.

В курсовом проекте рядом со степенью удержания в скобках указывают энергию удержания в кДж в соответствии с таблицей 2.11.1, например, У3 (250 кДж).

2.11.8. Пример №1 проектирования ограждений на транспортной развязке «клеверный лист»

Исходные данные:

Пусть дорога №1 категории III проходит в верхнем уровне. Пикетаж на дороге № 1 направлен в сторону путепровода длиной 66м. Начало путепровода расположено на пикете 20+67.

Продольный профиль верхней дороги – выпуклая кривая радиусом 10000м с вершиной на пикете 21+00 и прямая с уклоном 0,038. Данные рабочих отметок дороги № 1 приведены в таблице 2.11.7.

Таблица 2.11.7

| | | | | | | |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Пикетное положение | 16+00 | 17+00 | 18+00 | 19+00 | 20+00 | 20+67 |
| Рабочие отметки, м | 2,50 | 4,50 | 4,80 | 5,20 | 6,50 | 6,60 |

На участке дороги № 1 до путепровода имеются зоны слияния потоков ЛПО4 и ЛПО3 и зоны разветвления потоков ЛПО3 и ЛПО4 (рисунок 2.11.12). На рисунке 2.11.12 показано пикетное положение точек А, А', Н и Н' на дороге № 1 (знаменатель), на соединительном ответвлении (числитель).

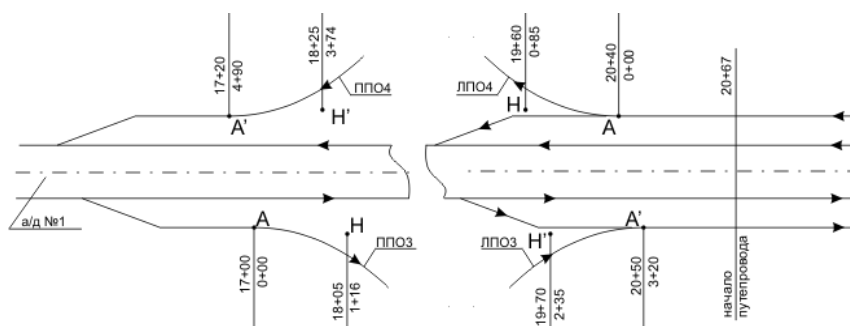


Рисунок 2.11.12 – Схема сопряжения ЛПО и ППО с дорогой № 1

Данные о рабочих отметках на ЛПО приведены в таблице 2.11.8, а ППО – в таблице 2.11.9.

Таблица 2.11.8

| | | | | |
|------|--------------------|------|------|------|
| ЛПО3 | Пикетное положение | 1+00 | 2+00 | 3+00 |
| | Рабочая отметка, м | 2,0 | 4,0 | 5,0 |
| ЛПО4 | Пикетное положение | 1+00 | 2+00 | 3+00 |
| | Рабочая отметка, м | 5,0 | 4,0 | 2,0 |

Таблица 2.11.9

| | | | | | |
|------|--------------------|------|------|------|------|
| ППО3 | Пикетное положение | 1+00 | 2+00 | 3+00 | 4+00 |
| | Рабочая отметка, м | 4,2 | 4,0 | 3,0 | 1,0 |
| ППО4 | Пикетное положение | 1+00 | 2+00 | 3+00 | 4+00 |
| | Рабочая отметка, м | 1,5 | 2,0 | 3,5 | 4,5 |

Продольный профиль на ЛПО в средней части ЛПО имеет уклон 45 %. Проектная линия на ППО имеет уклоны менее 40 %.

Требуется запроектировать ограждение на дороге № 1 на участке до путепровода, ограждение на ЛПО и ППО, ограждение на путепроводе.

Определение положения начала рабочего участка и степени удержания ограждения на дороге № 1

Так как план трассы дороги № 1 прямолинейный, продольный уклон проектной линии до 40 %, то в случае III категории (интенсивность движения не менее 2000авт./сут) по таблице 2.11.4 начало рабочего участка ограждения следует назначать при высоте насыпи 3,0м. По данным продольного профиля дороги № 1 (см. таблицу 2.11.9) начало рабочего участка находится на пикете 16+х. Расстояние х вычислим с точностью до 1,0м по интерполяции, принимая изменение рабочей отметки между пикетами 16 и 17 по линейной зависимости.

$$X = (3,0 - 2,50)/(4,5 - 2,5) \cdot 100, \quad x = 25 \text{ м.}$$

Таким образом, рабочий участок ограждения должен начинаться на пикете 16+25. До начала рабочего участка предусматривается начальный участок ограждения длиной 8м.

Сопоставляя пикетное положение начала рабочего участка ограждения на дороге №1 (16+25) и пикетное положение точек А' на ППО4 (17+20) и точки А на ППО3 (17+00) устанавливаем, что на дороге № 1 ограждение проектируется до правоповоротных соединительных ответвлений (см. рисунок 2.11.12).

Назначим степень удержания ограждения по таблице 2.11.5. Сложность дорожных условий на дороге № 1 (таблица 2.11.4, пункты 5 и 8) принимается 1-а при высоте насыпи до 5,0м и 2-а при высоте насыпи 5м и более.

Согласно таблице 2.11.5 на дороге № 1 III технической категории следует предусмотреть степень удержания ограждений У2 при высоте насыпи до 5,0м и У3 при высоте насыпи 5,0м и более. Земляное полотно с высотой насыпи 5,0м (см. таблицу 2.11.9) расположено на пикете 18+50.

По таблице 2.11.1 энергия удержания для У2 и У3 составляет 190 и 250 кДж соответственно.

Проектирование ограждения на дороге № 1 в зоне ППО3 и ППО4

Вычислим значения S_n и X_H (см. рис 2.11.11) по методике, изложенной в подпункте 2.11.6.2. Пусть $S_n = 116\text{м}$, $X_H = 105\text{м}$.

На дороге № 1 рабочий участок ограждения начинается на пикете 16+25 и доходит (см. рисунок 2.11.11) до сечения, проходящего через точку А справа (пикет 17+00) и через точку А' слева (пикет 17+20).

Продолжаются ограждения по дороге № 1 от точек сопряжения его с ППО. Пикетное положение точки сопряжения ограждения Н и Н' вычислим по формулам (2.11.16):

$$PK1(НППО3) = 17 + 00 + 105 = 18 + 05;$$

$$PK1(Н'ППО4) = 17 + 20 + 105 = 18 + 25.$$

Проектирование ограждения на дороге № 1 в зоне ЛПО3 и ЛПО4

Предварительно вычислим значения S_n и X_H (см. рисунок 2.11.10) по методике, изложенной в §2.11.6.1. Пусть $S_n = 85\text{м}$, $X_H = 80\text{м}$.

Ограждение по дороге №1 от точки сопряжения с ограждением на ППО (пикет 18+05 справа и пикет 18+25 слева) продолжается до точки сопряжения с ограждением на ЛПО (см. рисунок 2.11.12). Пикетное положение сопряжения ограждений слева и справа вычислим по формулам (2.11.17).

$$PK1(НЛПО4) = (20 + 40) - 80 = 19 + 60;$$

$$PK1(Н'ЛПО3) = (20 + 50) - 80 = 19 + 70.$$

После зоны слияния и разветвления потоков ЛПО3 и ЛПО4 ограждения на дороге № 1 начинается (см. рис.2.11.13) после сечения, проходящего через точку А' справа (пикет 20+50) и через точку А слева (пикет 20+40). Заканчивается дорожное ограждение в начале путепровода на пикете 20+67. На путепроводе проектируется мостовое ограждение.

Проектирование ограждения на правоповоротных (ППО) и левоповоротных (ЛПО) соединительных ответвлениях

В зоне разветвления потоков на ЛПО и ППО ограждение на внутренней обочине начинаются в сечении, проходящем через точку А (начало ЛПО4, ППО3), расположенную на пикете 0+00. На внешней обочине ограждения на ЛПО и ППО начинаются в сечении, проходящем через точку n, расположенную на расстоянии S_n от начала ЛПО или ППО. Таким образом, ограждение на внешней обочине ППО3 начинается на пикете 1+16, ЛПО4 на внешней обочине на пикете 0+85.

В зоне слияния потоков (см. рисунок 2.11.12) на ЛПО3 и ППО4 ограждение на внутренней обочине заканчивается в конце ЛПО3 и ППО4, в сечении, проходящем через точку А', расположенную на пикете 3+20 (ЛПО3) или 4+90(ППО4). Ограждение на внешней обочине заканчивается (см. рис.2.11.10) в сечении, проходящем через точку n, расположенную на пикетах:

- РК ЛПО3(n')= К ЛПО3(А')– $S_n=(3+20)–85=2+35$;
- РК ППО4(n)=РК ППО4(А')– $S_n=(4+90)–116=3+74$.

Рабочие участки ограждений в зоне разветвления потоков (на ЛПО 4 и ППО3) заканчивается, в зоне слияния потоков (на ЛПО 3 и ППО4) начинаются при высоте насыпи в соответствии с таблицей 2.11.4.

Так как на ЛПО уклон проектной линии 45%, а на ППО 30%, радиусы горизонтальных кривых менее 600м, то при интенсивности движения на перспективу 5 лет не менее 100авт./сут эта высота насыпи равна:

- на ЛПО с внешней стороны – 3,0м, с внутренней 3,5м;
- на ППО с внешней стороны – 3,5м, с внутренней 4,0м.

Вычислим пикетное положение конца рабочих участков на ЛПО4 и ППО3 и начала этих участков на ЛПО3 И ППО4, используя данные о рабочих отметках ЛПО (см. таблицу 2.11.10) и ППО (см. таблицу 2.11.11). Полученные результаты приведем в виде таблиц (таблицы 2.11.12, 2.11.13).

Таблица 2.11.12

| СО | Место расположения на обочине | Пикетное положение конца | |
|----------|-------------------------------|--------------------------|------------|
| | | рабочего участка | ограждения |
| ЛПО 4 | внешней | 2+50 | 2+56 |
| | внутренней | 2+25 | 2+31 |
| ППО 3 | внешней | 2+00 | 2+06 |
| | внутренней | 1+50 | 1+56 |

Таблица 2.11.13

| СО | Место расположения на обочине | Пикетное положение конца | |
|----------|-------------------------------|--------------------------|------------|
| | | рабочего участка | ограждения |
| ЛПО 3 | внешней | 1+50 | 1+62 |
| | внутренней | 1+75 | 1+87 |
| ППО 4 | внешней | 2+00 | 2+12 |
| | внутренней | 1+50 | 1+62 |

На ЛПО4 и ППО3 рабочий участок заканчивается конечным участком протяжением не менее 6м. На ЛПО3 и ППО4 рабочему участку ограждения предусматривают начальный участок протяжением 8м.

Степень удержания ограждения на ЛПО по СТБ 1300-2014 принимается равной У5 с энергией удержания (см. таблицу 2.11.1) 350кДж, на ППО – У3 (250кДж).

Ограждения на дороге № 1 и на ППО (ЛПО) в зоне точки Н (см. рис.2.11.10 и 2.11.11) сопрягаются криволинейной балкой (радиус $r = 0,8m$).

Проектирование ограждений на путепроводе

На путепроводе проектируют мостовое ограждение.

Сложность дорожных условий на путепроводе назначают по таблице 2.11.6. Так как план трассы дороги № 1 и путепровода является прямой ($R > 3000m$) и уклоны проектной линии менее 30%, то для дороги III категории принимаем сложность дорожных условий 1-ам. Для этого случая и путепровода без тротуаров по таблице 2.11.7 принимаем степень удержания УЗ с энергией удержания (см. таблицу 2.11.1) 250кДж.

Составление ведомости проектируемых ограждений

На основе предыдущих расчетов приводится ведомость ограждений (таблица 2.11.14).

Таблица 2.11.14

| № п/ п | Марка рабочего участка | Пикетное положение участка | | | | | | Протяжение рабочего участка, м |
|----------------------------|------------------------------|----------------------------|-------|----------|-------|------------|-------|--------------------------------------|
| | | начального | | рабочего | | конечного | | |
| | | начало | конец | начало | конец | начало | конец | |
| Дорога № 1, левая обочина | | | | | | | | |
| 1 | У2(190) | 16+13 | 16+25 | 16+25 | 17+20 | | | 95 |
| 2 | У2(190) | | | 18+25 | 18+50 | | | 25 |
| 3 | У3(250) | | | 18+50 | 19+60 | | | 110 |
| 4 | У3(250) | | | 20+40 | 20+67 | | | 27 |
| 5 | У3(250) | | | 20+67 | 21+00 | (мостовое) | | 33 |
| Дорога № 1, правая обочина | | | | | | | | |
| 6 | У2(190) | 16+13 | 16+25 | 16+25 | 17+00 | | | 75 |
| 7 | У2(190) | | | 18+05 | 18+50 | | | 45 |
| 8 | У3(250) | | | 18+50 | 19+70 | | | 120 |
| 9 | У3(250) | | | 20+50 | 20+67 | | | 17 |
| 10 | У3(250) | | | 20+67 | 21+00 | | | 33 |
| ЛПОЗ, внешняя обочина | | | | | | | | |
| 11 | У5(350) | 1+44 | 1+50 | 1+50 | 2+35 | | | 85 |
| ЛПОЗ, внутренняя обочина | | | | | | | | |
| 12 | У5(350) | 1+64 | 1+75 | 1+75 | 3+20 | | | 145 |
| ЛПО4, внешняя обочина | | | | | | | | |
| 13 | У5(350) | – | – | 0+85 | 2+50 | 2+50 | 2+50 | 165 |
| ЛПО4, внутренняя обочина | | | | | | | | |
| 14 | У5(350) | – | – | 0+00 | 2+25 | 2+25 | 2+31 | 225 |
| ЛПОЗ, внешняя обочина | | | | | | | | |
| 15 | У3(250) | – | – | 1+16 | 2+00 | 2+00 | 2+00 | 84 |
| ЛПОЗ, внутренняя обочина | | | | | | | | |
| 16 | У3(250) | – | – | 0+00 | 1+50 | 1+50 | 1+50 | 150 |
| ЛПО4, внешняя обочина | | | | | | | | |
| 17 | У3(250) | 1+94 | 2+00 | 2+00 | 3+74 | – | – | 174 |

| | | | | | | | | |
|--------------------------|---------|------|------|------|------|---|---|-----|
| 7 | | | | | | | | |
| ППО4, внутренняя обочина | | | | | | | | |
| 1 8 | У3(250) | 1+44 | 1+50 | 1+50 | 4+90 | – | – | 240 |

Таким образом, на половине транспортной развязки «полный клеверный лист» на дороге №1 требуется установить на рабочих участках дорожные односторонние ограждения:

- дорожное У2 (190) – 240п.м;
- дорожное У3 (250) – 274п.м;
- начальные участки – 24п.м;
- мостовое У3 (250) – 66п.м.

На соединительных ответвлениях требуется:

- на ЛПО3 и ЛПО4 ограждения У5(350) – 620п.м;
- на ППО3 и ППО4 ограждения У3(250) – 648п.м;
- начальных участков – 24п.м;
- конечных участков – 48п.м.

Дорожные ограждения:

- У2(190) = 11ДО/У2(190)–0,75–2,0–1,2;
- У3(250) = 11ДО/У3(250)–0,75–2,0–1,2;
- У5(350) = 11ДО/У5(350)–1,10–1,0–0,8.

Мостовое ограждение:

- У3(250) = 11МО/У3(250)–0,9–2,25–0,70.

Начальные и конечные участки примем наклонными с шагом стоек 2,0м.

2.11.9. Пример №2 проектирования ограждения на транспортной развязке «Полный клеверный лист»

Исходные данные

Пусть дорога №1 категории III проходит в верхнем уровне. Пикетаж на дороге № 1 направлен в сторону путепровода длиной 66 м. Начало путепровода расположено на пикете 20+67.

Продольный профиль верхней дороги – выпуклая кривая радиусом 10000м с вершиной на пикете 21+00 и прямая с уклоном 0,038. Данные рабочих отметок дороги № 1 приведены в таблице 2.11.7.

- рабочие отметки на дороге № 1 по таблице 2.11.15 взамен 2.11.9;
- рабочие отметки по ППО3 и ППО4 по таблице 2.11.16 взамен таблицы 2.11.15.

Таблица 2.11.15

| | | | | | | |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Пикетное положение | 16+00 | 17+00 | 18+00 | 19+00 | 20+00 | 20+67 |
| Рабочие отметки, м | 1,50 | 2,20 | 4,20 | 5,20 | 6,50 | 6,60 |

Таблица 2.11.16

| | | | | | |
|------|--------------------|------|------|------|------|
| ППО3 | Пикетное положение | 1+00 | 2+00 | 3+00 | 4+00 |
| | Рабочая отметка, м | 2,60 | 2,00 | 1,50 | 1,00 |
| ППО4 | Пикетное положение | 1+00 | 2+00 | 3+00 | 4+00 |
| | Рабочая отметка, м | 1,00 | 1,50 | 2,10 | 2,60 |

Определение положения начала рабочего участка и степени удержания ограждения на дороге № 1

Ранее было определено, что начало рабочего участка ограждения соответствует высоте насыпи 3,0м. Исходя из данных таблицы 2.11.15 устанавливаем, что такой поперечник земполотна находится на расстоянии x от пикета 17+00:

$$x = (3,0 - 2,2)/(4,2 - 2,2) \cdot 100 = 40\text{м.}$$

Таким образом, рабочий участок ограждения на дороге № 1 следовало бы начинать на пикете 17+40. Однако вследствие разделения (слияния) потоков на дороге № 1 и на ППОЗ (ППО4) ограждение на дороге № 1 можно начинать после пикета 18+05 справа и после пикета 18+25 слева (см. рисунок 2.11.12). Примем начальные участки слева и справа длиной 12м. В этом случае рабочие участки ограждения на дороге № 1 начнутся на пикетах 18+17 справа и 18+37 слева.

Степень удержания ограждения (см. таблицу 2.11.5) при высоте насыпи до 5м У3, при высоте насыпи 5м и более У4. Земляное полотно с высотой насыпи 5,0м (см. таблицу 2.11.18) расположено на пикете 18+ x . Значение x вычислим по интерполяции

$$x = (5,0 - 4,20)/(5,2 - 4,2) \cdot 100 = 80\text{м.}$$

Проектирование ограждений на дороге № 1 в зоне ЛПОЗ и ЛПО4

Исходные данные по ЛПОЗ и ЛПО 4 приняты аналогично примеру № 1.

Проектирование ограждений на соединительных ответвлениях, на путепроводе

Так как на ППОЗ и ППО4 высота насыпи (см. таблицу 2.11.16) небольшая, то в соответствии с таблицей 2.11.5 ограждения аналогичны примеру № 1 (см. подпункт 2.11.1).

На путепроводе ограждения соответствуют подпункту 2.11.8.1.

Составление ведомости проектируемых ограждений

В целом ведомость проектируемых ограждений соответствует таблице 2.11.14, со следующими изменениями:

- на дороге № 1 начальные участки ограждения проектируются слева от пикета 18+25 до пикета 18+37, справа от пикета 18+05 до пикета 18+17;
- на дороге № 1 рабочие участки ограждения со степенью удержания У2(190) начинаются после конца начальных участков (после пикетов 18+37 и 18+17) и заканчиваются на пикете 18+80;
- на дороге № 1 ограждение со степенью удержания У3(250) проектируется после пикета 18+80;
- на ППОЗ и ППО4 ограждение не предусматривается и строки 15, 16, 17, 18 в таблице отсутствуют.

4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНОЙ РАЗВЯЗКИ «НАКОПИТЕЛЬНЫЙ РОМБ».

Транспортная развязка «накопительный ромб» относится к типу неполных транспортных развязок. Она может применяться на пресечениях автомобильных дорог I категории с дорогами IV и III категорий, на пересечении дорог II и III категории с дорогами II и III категорий.

3.1. Элементы транспортной развязки «накопительный ромб».

Транспортная развязка «накопительный ромб» включает путепровод, дорожное полотно пересекающихся автомобильных дорог, совмещенные односторонние соединительные ответвления СО1, СО2, СО3 и СО4 (рис. 3.1), полосы торможения и разгона, технические средства организации дорожного движения (дорожные знаки, разметка, ограждения).

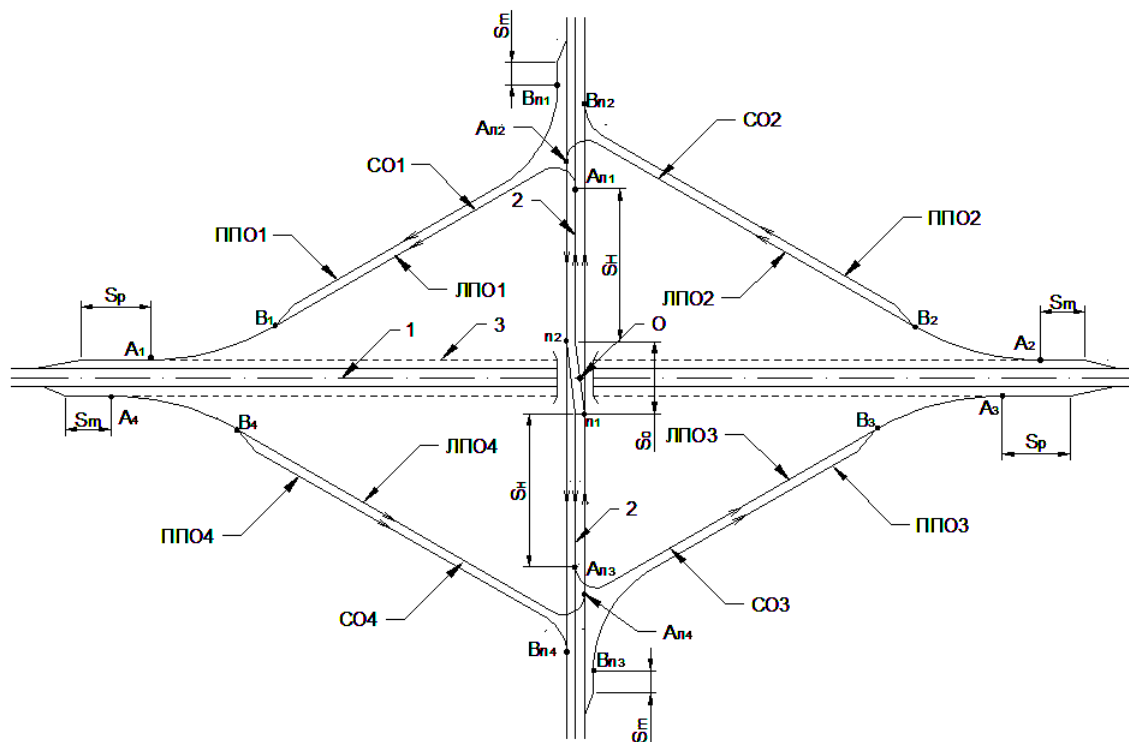


Рис. 3.1. Схема плана трассы транспортной развязки «накопительный ромб»: 1,2 – оси главной и второстепенной дорог; 3 – продолжение осей полос торможения и разгона..

Каждое совмещенное соединительное ответвление (СО) состоит из левоповоротного (ЛПО) и правоповоротного (ППО) соединительных ответвлений. В зависимости от интенсивности движения прямолинейная часть плана трассы соединительного ответвления (СО) (рис.3.1) может быть двухполосной или однополосной. Если длина соединительного ответвления более 500м, то независимо от интенсивности движения принимают двухполосную проезжую часть соединительного ответвления.

Соединительные ответвления сопрягаются с проезжей частью *главной дороги* с помощью полос разгона S_p на отмыкании и полос торможения S_m на примыкании к главной дороге.

Полосы торможения на отмыкании соединительных ответвлений от *второстепенной дороги* и полосы разгона на примыкании *второстепенной дороги* могут назначаться в случае, если второстепенная дорога имеет категорию III. По ТКП509 – 2014 полосы разгона в зоне второстепенной дороги не предусматриваются.

Проектирование транспортной развязки «накопительный ромб» включает обоснование схемы путепровода, проектирование продольного профиля дорог, проходящих в нижнем и верхнем уровнях, проектировании плана трассы общих соединительных ответвлений СО1 – СО4, проектирование продольного профиля соединительных ответвлений.

Путепроводы назначают как правило балочной разрезной системы четырехпролетными, если нижняя дорога I категории, или трехпролетными, если нижняя дорога II, III и IV категории.

Продольный профиль нижней дороги проектируют с учетом рельефа местности, требуемой высоты насыпи в соответствии с типом местности по увлажнению, нормами проектирования для категории нижней дороги.

Продольный профиль верхней дороги начинают проектировать в зоне путепровода. Продольный уклон трассы на путепровode не должен превышать 20 %. Минимальное значение продольного уклона рекомендуется 5‰ и более.

Методики обоснования схемы путепровода, его длины, последовательности проектирования продольного профиля нижней и верхней дороги приведены в § 2.3.

Проектирование плана и продольного профиля трассы соединительных ответвлений СО1 – СО4 рассмотрим в последующих разделах.

3.2. Проектирование плана трассы транспортной развязки «накопительный ромб»

План трассы транспортной развязки включает положение осей полос движения пересекающихся дорог и осей поворотных соединительных ответвлений.

Обычно планы трассы дорог прямые, пересекающиеся под углом α (рис. 3.2.1).

Для поворотных направлений предназначены четыре совмещенные односторонние соединительные ответвления CO1, CO2, CO3 и CO4 (рис. 3.2.1). Каждое соединительное ответвление предназначено для автомобилей, поворачивающих налево (левоповоротное ЛПО) и направо (правоповоротное ППО).

Для поворота налево с второстепенной дороги 2 на главную 1 автомобиль на путепроводе переходит на накопительную полосу Н (рис. 3.2.1). В конце накопительной полосы на ВУЛ1 автомобиль поворачивает налево, движется по левоповоротному соединительному ответвлению до пересечения с полосой разгона главной дороги, поворачивая направо на ВУ1. Аналогичным образом для поворота налево с второстепенной дороги 2 на главную 1 автомобиль движется по накопительной полосе Н, поворачивает налево на ВУЛ3 и движется по ЛПО3 и на ВУ3 поворачивает направо на главную дорогу 1.

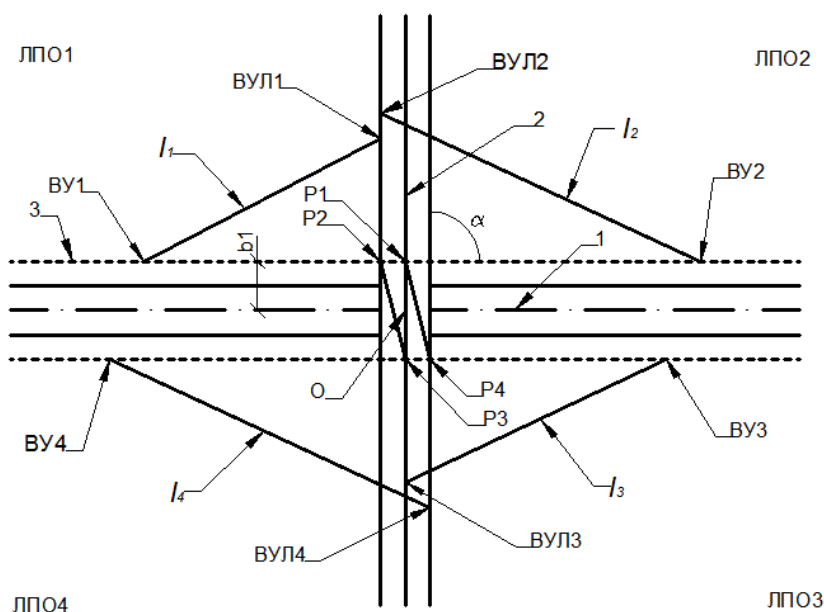


Рис. 3.2.1. Схема ломаной трассы левоповоротных соединительных ответвлений;
1,2 – оси главной и второстепенной дорог.

Для поворота налево с главной дороги 1 на второстепенную 2 автомобиль на ВУ2 поворачивает направо, движется по ЛПО2 и на ВУЛ2 поворачивает налево на дорогу 1. Для поворота налево с главной дороги 1 на второстепенную 2 используют левоповоротное соединительное ответвление ЛПО4.

3.2.1. Проектирование плана трассы левоповоротных соединительных ответвлений ЛПО1, ЛПО3

Проектирование плана трассы ЛПО1 и ЛПО3 включает определение величины углов поворота трассы ЛПО, расстояния между углами поворота трассы, проектирование закруглений на ВУЛ1, ВУЛ3, ВУ1 и ВУ3 (рис. 3.2.1), пикетаж трассы ЛПО и ЛПО3.

3.2.1.1. Обоснование углов поворота трассы ЛПО

Зарубежная практика проектирования трассы транспортной развязки «накопительный ромб» характерна применением малых углов поворота трассы на ВУ1–ВУ4 (рис. 3.2.1), мотивируя лучшими условиями сопряжения левоповоротного транспортного потока с потоком, движущимся по главной дороге.

Анализ снимков Google Earth транспортных развязок типа «ромб» на дорогах США показывает, что угол примыкания ЛПО к главной дороге или отмыкания от нее имеет величину 20–25°.

При таких малых углах поворота трассы необходимо обеспечить условие возможности разбивки закругления с переходной кривой.

$$\gamma \geq 2\beta \quad , \quad (3.2.1)$$

где β – угол переходной кривой:

$$\beta = (L/2R) \cdot (180/\pi), \quad (3.2.2)$$

где L , R – длина переходной кривой и радиус круговой кривой.

Данные определения минимального угла γ по (3.2.1) и (3.2.2) приведены в таблице (3.2.1).

Таблица 3.2.1.

| | R = 200 м | | | R = 120 м | | | |
|---|-----------|----|----|-----------|----|----|----|
| L | 90 | 80 | 70 | 75 | 60 | 55 | 50 |
| Г | 26 | 24 | 21 | 35 | 29 | 27 | 22 |

Если принять длину переходной кривой L для свободных условий равной 90м, то при радиусе закругления 200м угол γ должен быть не менее 26°, а при радиусе 120м – не менее 35°. Следовательно, учитывая зарубежный опыт проектирования транспортных развязок типа «накопительный ромб», назначим угол γ равным 22° и примем длину переходной кривой равной 70м при радиусе 200м и 50м при радиусе 120м как для несвободных условий проектирования.

Вычислим величину угла поворота на ВУЛ1 исходя из суммы внутренних углов треугольника P1, ВУЛ1, ВУ1, равный 180°:

$$\varphi_{л1}\varphi_{л1} = 180 - \alpha + \gamma. \quad (3.2.3)$$

Аналогичным образом определим величину угла поворота на ВУЛ2, исходя из треугольника P2, ВУЛ2, ВУ2:

$$\varphi_{л2}\varphi_{л2} = \alpha + \gamma. \quad (3.2.4)$$

Углы поворота на ВУЛ3 и ВУЛ4 соответственно равны углам поворота на ВУЛ1 и ВУЛ2, т.е.:

$$\varphi_{л3} = \varphi_{л1}; \quad \varphi_{л4} = \varphi_{л2}.$$

3.2.1.2. Определение элементов закруглений на левоповоротных соединительных ответвлениях

Трасса ЛПО1 и ЛПО3 заканчивается на главной дороге, а трассы ЛПО2 и ЛПО4 начинается на главной дороге 1. В углы поворота ВУ1, ВУ3, ВУ2 и ВУ4 вписывают закругления малого радиуса, состоящие каждое из круговой кривой и двух переходных кривых.

По ТКП 509–2014 расчетная скорость движения на совмещенных соединительных ответвлениях равна 80км/час, если главная дорога категории I–II, и 60км/час, если главная дорога категории III. Для расчетной скорости 80км/час радиус круговой кривой 200м, для расчетной скорости 60км/час – 120м.

Элементы закруглений с переходной кривой на ВУ1–ВУ4 вычислим по формулам (3.2.3), (3.2.4) и (3.2.5):

– смещение t и сдвигка P

$$t = X_B - R \cdot \sin\beta, \quad P = Y_B - R \cdot (1 - \cos\beta), \quad (3.2.3)$$

где R – радиус круговой кривой;

β – угол переходной кривой, вычисляется по формуле (3.2.2);

X_B, Y_B – координаты конца переходной кривой, вычисляются по формулам:

$$X_B = L - L^3/(40R^2), \quad Y_B = L^2/(6R) - L^4/(336R^3); \quad (3.2.4)$$

– тангенс закругления, длина круговой кривой:

$$T = (R+P) \cdot \operatorname{tg}(\gamma/2), \quad K_o = \pi \cdot R \cdot (\gamma - 2\beta)/180; \quad (3.2.5)$$

$$D = 2(T + t) - (2L + K_o) \quad . \quad (3.2.6)$$

На второстепенной дороге начинается трасса ЛПО1 и ЛПО3 и заканчивается трасса ЛПО2 и ЛПО4 (рис. 3.2.1). Трасса ЛПО1 и ЛПО3 начинается после конца накопительной полосы H . На ВУЛ1 и ВУЛ3 она проектируется по схеме канализированного примыкания. Радиус поворота на канализированном примыкании принимается не менее 12,0м. Однако при таком малом радиусе длинномерные транспортные средства не вписываются в закругление.

Для обеспечения возможности поворота длинномерных транспортных средств примем на ВУ1, ВУ2, ВУ3 и ВУ4 радиус кривой 15,0м как на выезде с кольцевого пересечения.

Элементы закругления (тангенс, кривая, домер) на ВУЛ1–ВУЛ2 вычисляют в соответствии с §2.4. данного пособия § 2.1.

В случае закругления на ВУЛ1 и ВУЛ3 тангенс $T_{л1}$ кривой, длину $K_{л1}$ и домер $D_{л1}$ вычисляют по формулам (3.2.7), принимая угол φ равным $\varphi_{л1}$. В случае закругления на ВУЛ2и ВУЛ4 значения $T_{л2}$, $K_{л2}$, $D_{л2}$ определяют по (3.2.7), принимая $\varphi = \varphi_{л2}$:

$$T = R \operatorname{tg}(\varphi/2); \quad K = \pi R \varphi / 180; \quad D = 2T - K. \quad (3.2.7)$$

3.2.1.3. Определение длины прямых участков левоповоротных соединительных ответвлений

Левоповоротные соединительные ответвления ЛПО1 начинается на второстепенной дороге 2 после окончания накопительной полосы S_n . Накопительная полоса S_n расположена таким образом, чтобы середина отгона ее S_o находилась на оси главной дороги 1 (рис. 3.2.2). Пусть ось накопительной полосы (ось дороги 2) и ось продолжения полосы разгона пересекаются в точке $P1$.

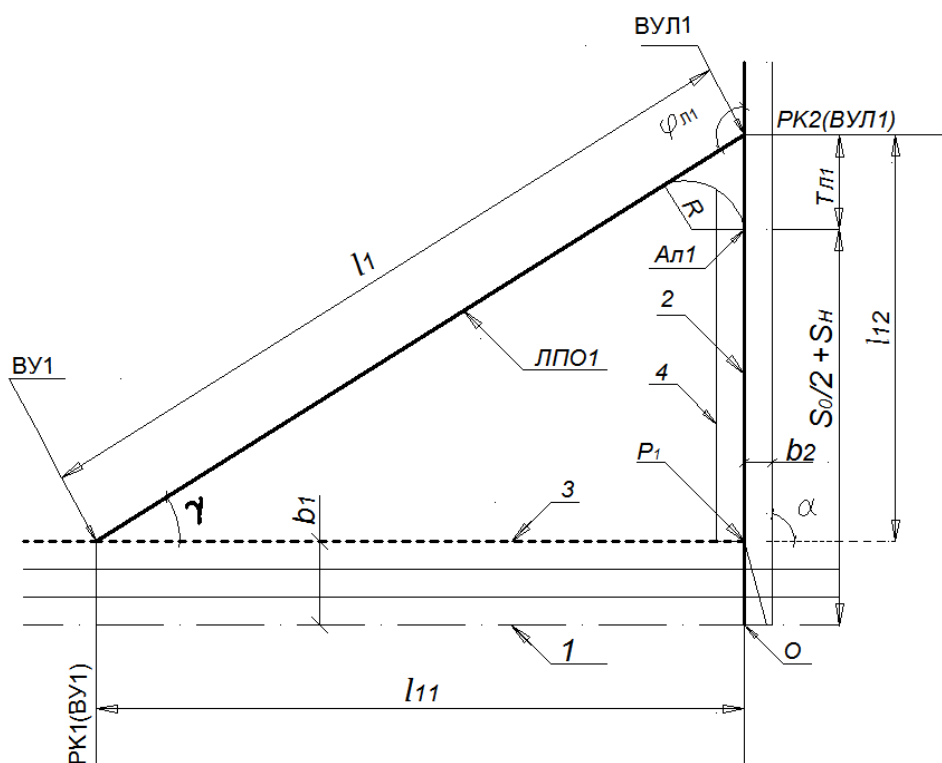


Рис. 3.2.2. Схема к определению длины l_1 на ЛПО1:

1,2 – оси главной дороги 1 и второстепенной 2; 3 – ось продолжения оси полосы разгона; P_1 – точка пересечения оси дороги 2 и линии 3.

Для определения длины l_1 участка ЛПО1 рассмотрим треугольник ВУ1, ВУЛ1, P_1 , в котором известны внутренние углы. Вычислим длину стороны l_1 этого треугольника:

$$l_1 = S_0/2 + S_n - C_2(P_1), \quad (3.2.8)$$

где $S_0 = 30\text{ м}$ – длина отгона накопительной полосы;

S_n – длина накопительной полосы, равная 110 м для дороги категории III;

$C_2(P_1)$ – смещение вдоль дороги №2 относительно точки О пересечения осей дорог (рис 3.2.3).

$$C_2(P_1) = b_1 / \sin \alpha, \quad (3.2.9)$$

где b_1 – расстояние между осью дороги 1 и осью крайней полосы 3;

α – угол пересечения дорог, отсчитываемый от направления главной дороги до направления второстепенной против часовой стрелки.

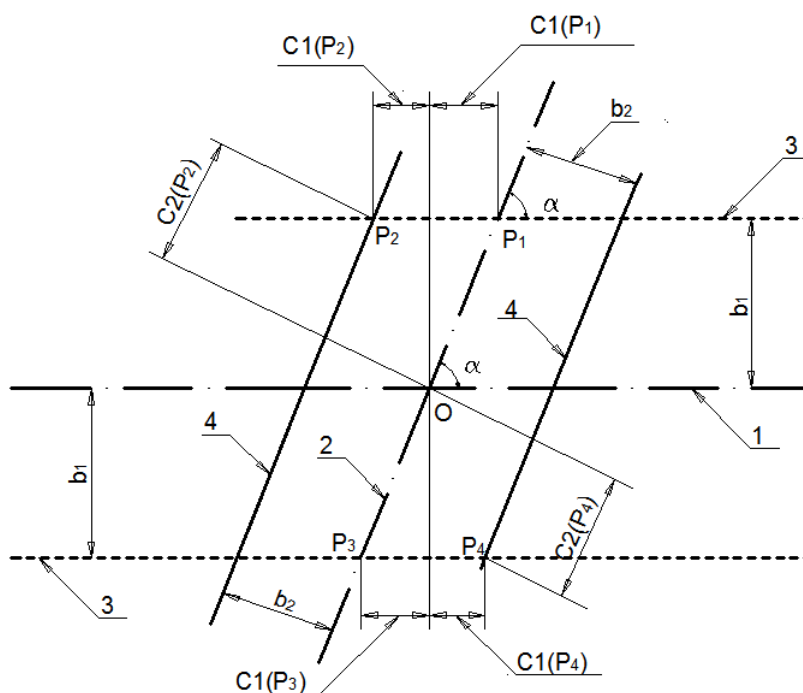


Рис. 3.2.3. Схема к определению смещения точек пересечения осей полос движения относительно точки пересечения осей дорог: 1,2 – оси главной и второстепенной дорог; 3,4 – оси полос торможения и разгона.

Вычислим длины сторон ℓ_1 и ℓ_{11} треугольника (рис. 3.2.2) по теореме синусов при известной длине стороны ℓ_{12} :

$$\begin{aligned} \ell_1 / \sin(180 - \alpha) &= \ell_{11} / \sin(180 - \varphi_{л1}) = \ell_{12} / \sin\gamma = m_1, \\ \ell_1 &= m_1 \cdot \sin(180 - \alpha), \quad \ell_{11} = m_1 \cdot \sin(180 - \varphi_{л1}). \end{aligned} \quad (3.2.10)$$

Левоворотное соединительное ответвление ЛПО2 заканчивается на второстепенной дороге 2 на расстоянии ℓ_{m1} от начала ЛПО1 до сечения, проходящего через точку пересечения оси ЛПО1 и кромки укрепленной полосы дороги 2 (рис. 3.2.4).

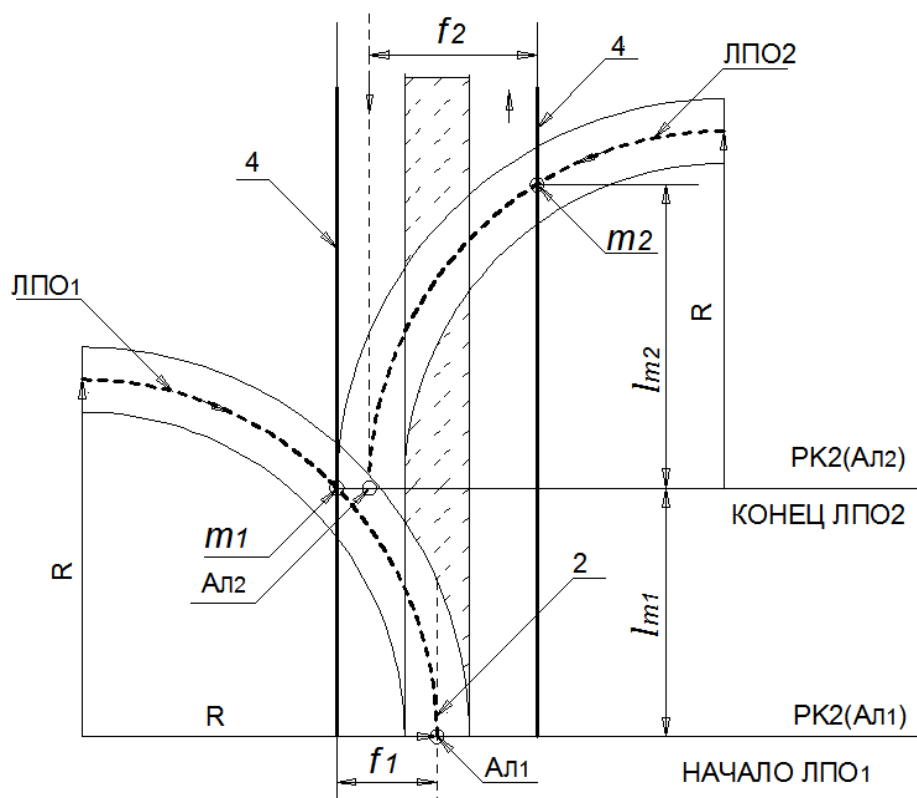


Рис. 3.2.4. Схема к определению положения конца ЛПО2 и контрольной точки m_2 : 2 – ось накопительной полосы; 4 – кромки укрепительных полос проезжей части второстепенной дороги 2.

Расстояние l_{m1} определяется по формуле (3.3.1).

Для определения длины l_2 ЛПО2 рассмотрим треугольник со сторонами l_2 , l_{21} и l_{22} и известными внутренними углами (рис. 3.2.5).

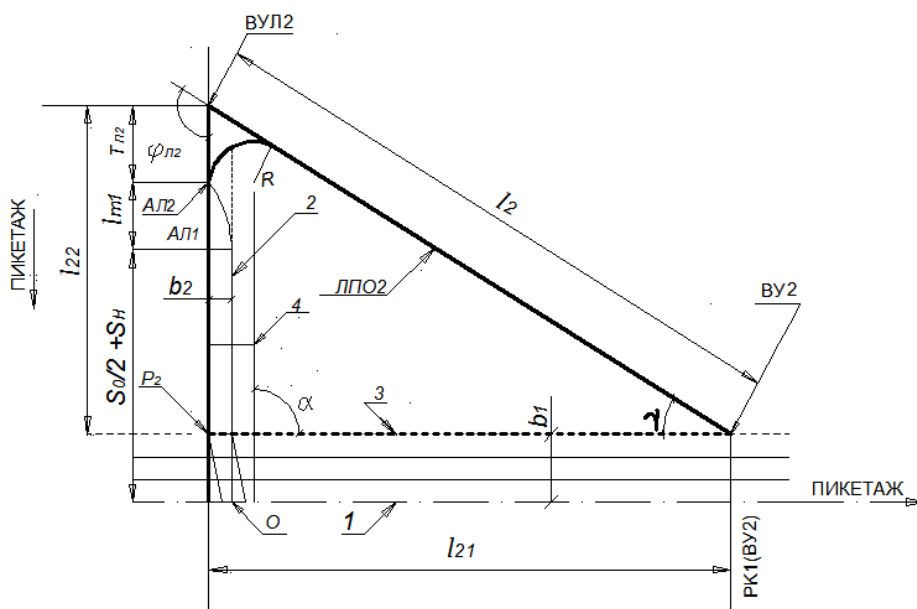


Рис. 3.2.5. Схема к определению расстояния l_2 на ЛПО2:

1,2–оси главной дороги 1 и второстепенной 2; 3–продолжение оси торможения; Р2–точка пересечения линии 3 и оси 4 полосы движения по направлению к главной дороге.

Предварительно вычислим длину стороны ℓ_{22} :

$$\ell_{22} = S_o / 2 + S_n + \ell_{m1} + T_{л2} - C_2 (P_2), \quad (3.2.11)$$

где S_o, S_n – см. (3.2.8);

ℓ_{m1} – см. (3.3.1);

$T_{л2}$ – тангенс, вычисляется по (3.2.7) при $\varphi = \varphi_{л2}$;

$C_2 (P_2)$ – смещение точки P_2 (рис. 3.2.3) вдоль дороги 2 относительно точки пересечения осей дорог 1 и 2, вычисляется по формуле:

$$C_2 (P_2) = b_1 / \sin\alpha - b_2 \cdot \operatorname{ctg}\alpha. \quad (3.2.12)$$

Длины сторон треугольника вычислим по теореме синусов (рис. 3.2.5):

$$M_2 = \ell_{22} / \sin\gamma; \quad \ell_2 = m_2 \cdot \sin\alpha; \quad \ell_{21} = m_2 \cdot \sin(180 - \varphi_{л}). \quad (3.2.13)$$

3.2.1.4. Определение пикетного положения основных точек трассы ЛПО1, ЛПО3

Основными точками трассы левоповоротных соединительных ответвлений являются начало и конец ЛПО, вершины углов поворота в пикетаже пересекающихся дорог и в пикетаже ЛПО1 и ЛПО3.

Пикетное положение начала плана трассы ЛПО1 и ЛПО3 в пикетаже дороги 2 (рис. 3.2.2):

$$PK_2(A_{л1}) = PK_2(0) - (S_{o2} / 2 + S_n), \quad (3.2.14, a)$$

$$PK_2(A_{л3}) = PK_2(0) + (S_{o2} / 2 + S_n), \quad (3.2.14, б)$$

где $PK_2(0)$ – пикетное положение на дороге 2 точки пересечения осей дорог 1 и 2 (по заданию).

Знак «-» в формуле (3.2.14, а) и «+» в формуле (3.2.14, б) соответствует направлению пикетажа на дороге 2 от ВУЛ1 к ВУЛ3 (рис. 3.2.1). Если направления пикетажа на дороге 2 противоположные, то в формулах (3.2.14) знаки «-» и «+» изменяют на противоположные.

Пикетное положение ВУЛ1 и ВУЛ3 в пикетаже дороги 2:

$$PK_2(ВУЛ1) = PK_2(A_{л1}) - T_{л1}, \quad (3.2.15, a)$$

$$PK_2(ВУЛ3) = PK_2(A_{л3}) + T_{л1}, \quad (3.2.15, б)$$

где $T_{л1}$ – тангенс закругления на ВУЛ1, вычислен по (3.2.7) для $\varphi_{л1}$.

Пикетное положение углов поворота ВУ1 и ВУ3 в пикетаже дороги 1 (рис. 3.2.2, 3.2.6):

$$PK_1(ВУЛ1) = PK_1(0) - \ell_{11} + C_1(P_1); \quad (3.2.16, a)$$

$$PK_1(ВУЛ3) = PK_1(0) + \ell_{11} - C_1(P_3), \quad (3.2.16, б)$$

где ℓ_{11} – см. (3.2.10);

$C_1(P_1), C_1(P_3)$ – смещение вдоль оси дороги 1, точек пересечения оси дороги 2 и осей крайних полос дороги 1 (рис. 3.2.3). Вычисляются по формуле (3.2.17):

$$C_1(P_1) = C_1(P_3) = b_1 / \sin\alpha. \quad (3.2.17)$$

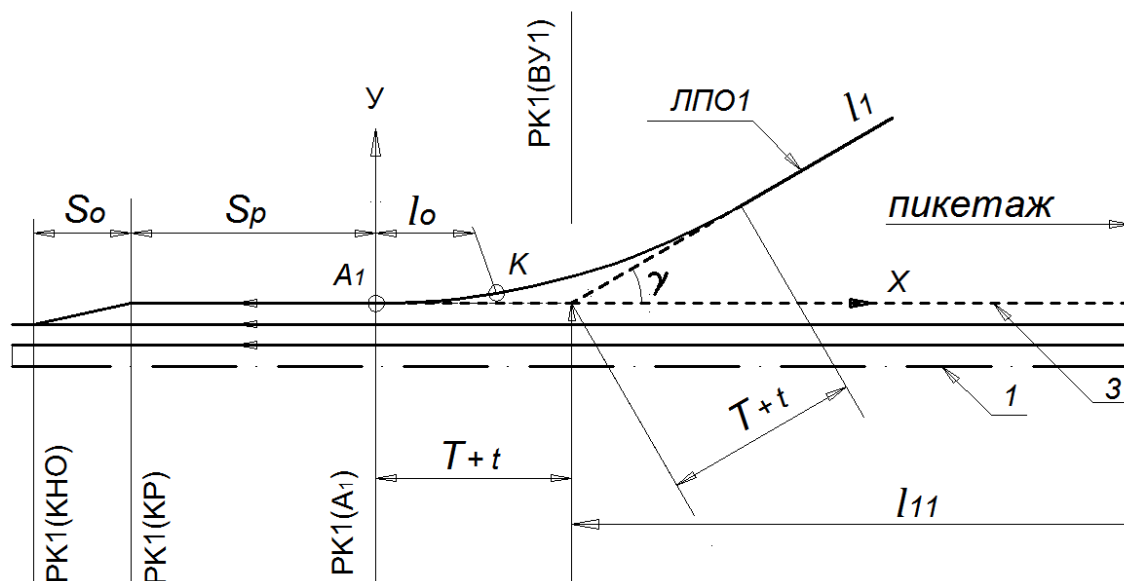


Рис. 3.2.6. Схема плана трассы транспортной развязки «накопительный ромб» на примыкании ЛПО1 к главной дороге 1: 1– ось главной дороги; 3– ось полосы разгона.

Пикетное положение конца плана трассы ЛПО1 (рис. 3.2.6) и ЛПО3 (рис. 3.2.7) в пикетаже дороги 1:

$$PK_1(A_1) = PK_1(BY1) - (T + t), \quad (3.2.18, a)$$

$$PK_1(A_3) = PK_1(BY3) + (T + t), \quad (3.2.18, б)$$

где T, t – см. (3.2.3) и (3.2.5).

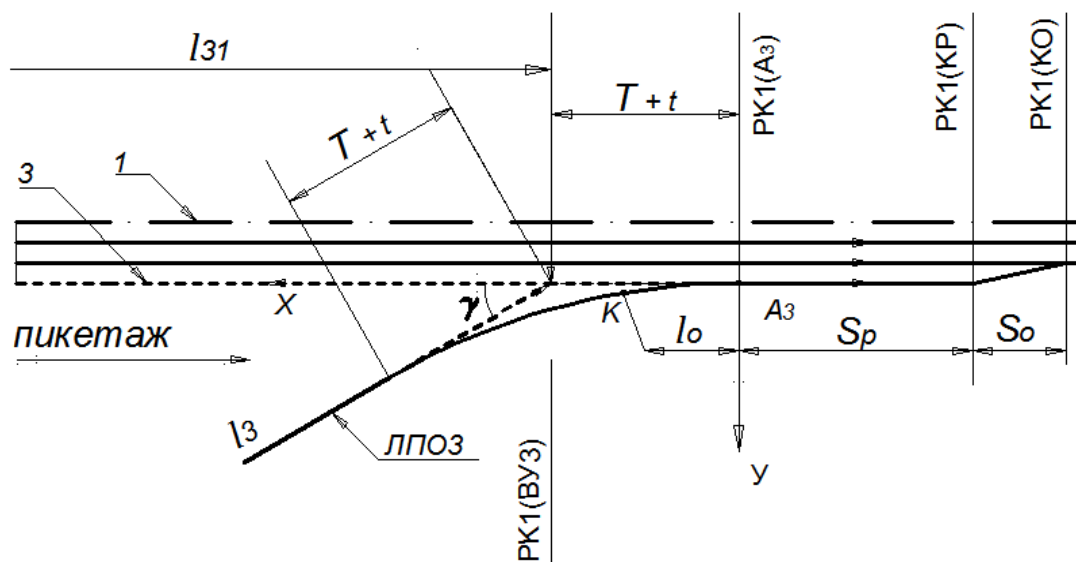


Рис. 3.2.7. Схема плана трассы транспортной развязки «накопительный ромб» на примыкании ЛПО3 к главной дороге 2: 1– ось главной дороги; 3 – ось полосы разгона.

Вычислим пикетное положение основных точек ЛПО1 в пикетаже соединительного ответвления. Началом ЛПО1 является точка $A_{л1}$ (рис. 3.2.2):

$$PK_{ЛПО1}(A_{л1}) = 0 + 00.$$

Пикетное положение ВУЛ1, ВУ1 и конца ЛПО1 (рис. 3.2.6):

$$PK_{\text{ЛПО1}}(\text{ВУЛ1}) = T_{\text{л1}}; \quad (3.2.19, \text{а})$$

$$PK_{\text{ЛПО1}}(\text{ВУ1}) = T_{\text{л1}} + \ell_{\text{л1}} - D_{\text{л1}}; \quad (3.2.19, \text{б})$$

$$PK_{\text{ЛПО1}}(A_1) = T_{\text{л1}} + \ell_{\text{л1}} - D + T + t - D, \quad (3.2.20)$$

где $T_{\text{л1}}$, T , $D_{\text{л1}}$, D – тангенсы и домеры закруглений на ВУЛ1, ВУ1, определяются по формулам (3.2.5 – 3.2.7);

t – смещение начала закругления при введении переходной кривой, определяется по (3.2.3).

Пикетное положение основных точек ЛПО3 в пикетаже ЛПО3 аналогично пикетному положению этих точек на ЛПО1.

3.2.1.5. Определение пикетного положения основных точек ЛПО2 (ЛПО4)

Пусть, направление пикетажа (рис. 3.2.1): на главной дороге 1 и на второстепенной дороге 2 аналогично принятому направлению в § 3.2.1.4.

Началом плана трассы ЛПО2 является начало закругления на ВУ2 (рис. 3.2.8).

Началом плана трассы ЛПО4 будет начало закругления на ВУ4.

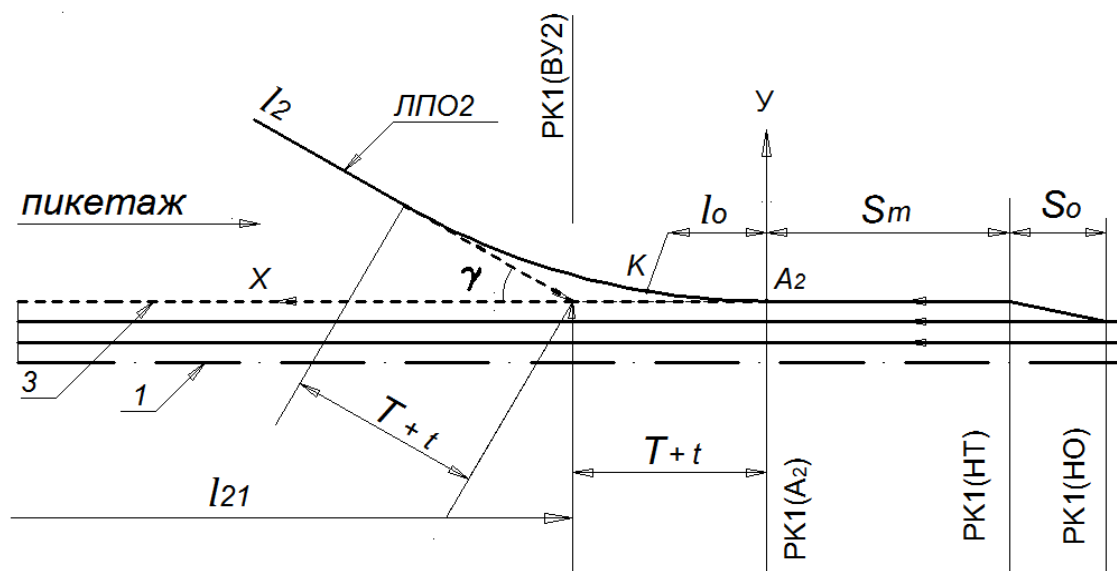


Рис. 3.2.8. Схема плана трассы транспортной развязки «накопительный ромб» на отмыкании ЛПО2 от главной дороги 1 на ВУ2: 1– ось дороги 1; 3– ось полосы торможения.

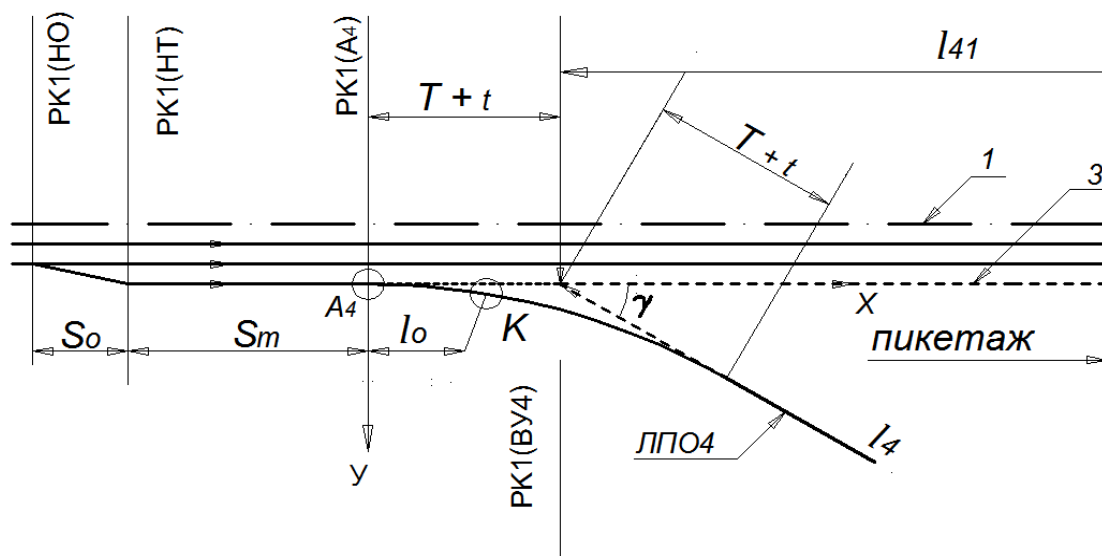


Рис. 3.2.9. Схема отмыкания ЛПО4 от дороги 1: 1,2 – оси дороги 1 и полосы торможения.

Пикетное положение ВУ2, ВУ4 начала ЛПО2 и начала ЛПО4 в пикетаже дороги 1 вычисляют по формулам (3.2.21) и (3.2.22):

$$PK_1(ВУ2) = PK_1(0) - C_1(P_2) + \ell_{21}; \quad (3.2.21, a)$$

$$PK_1(ВУ4) = PK_1(0) + C_1(P_4) - \ell_{21}; \quad (3.2.21, б)$$

$$PK_1(A_1) = PK_1(ВУ2) + (T + t); \quad (3.2.22, a)$$

$$PK_1(A_4) = PK_1(ВУ4) - (T + t); \quad (3.2.22, б)$$

где $C_1(P_2)$, $C_1(P_4)$ – см. (3.2.25).

Пикетное положение ВУЛ2 и ВУЛ4, конца ЛПО2 и ЛПО4 в пикетаже дороги 2:

$$PK_2(ВУЛ2) = PK_2(0) - C_2(P_2) - \ell_{22}; \quad (3.2.23, a)$$

$$PK_2(ВУЛ4) = PK_2(0) + C_2(P_4) + \ell_{22}; \quad (3.2.23, б)$$

$$PK_2(A_{л2}) = PK_2(ВУЛ2) + T_{л2} - D_{л2}; \quad (3.2.24, a)$$

$$PK_2(A_{л4}) = PK_2(ВУЛ4) - T_{л4} + D_{л4}; \quad (3.2.24, б)$$

где $C_2(P_2)$, $C_2(P_4)$ – смещение точек P_2 и P_4 вдоль дороги 2, определяется по формулам (3.2.25).

Смещение точки P_2 и точки P_4 от точки пересечения осей дорог по направлению дороги 1 и по направлению дороги 2 (рис. 3.2.3):

$$C_1(P_2) = C_1(P_4) = b_2 / \sin \alpha - b_1 \cdot \operatorname{ctg} \alpha, \quad (3.2.25, a)$$

$$C_2(P_2) = C_2(P_4) = b_1 / \sin \alpha - b_2 \cdot \operatorname{ctg} \alpha, \quad (3.2.25, б)$$

где b_1 , b_2 – ширина полосы движения дороги 1 и 2.

Пикетное положение основных точек ЛПО2 (начало ЛПО2, ВУ2, ВУЛ2, конец ЛПО2) в пикетаже ЛПО2:

$$PK_{\text{ЛПО2}}(A) = 0 + 00; \quad (3.2.26)$$

$$PK_{\text{ЛПО2}}(ВУ2) = T + t; \quad (3.2.27)$$

$$PK_{\text{ЛПО2}}(ВУЛ2) = T + t + \ell_2 - D; \quad (3.2.28)$$

$$PK_{\text{ЛПО2}}(A_{л2}) = T + t + \ell_2 - D + T_{л2} - D_{л2}; \quad (3.2.29)$$

где T , t , D – элементы закругления с переходной кривой, определяются по формулам (3.2.3 – 3.2.6);

$T_{л2}$, $D_{л2}$ – элементы закругления по круговой кривой, вычисляются по формулам (3.2.7).

Пикетное положение основных точек ЛПО4 в пикетаже ЛПО4 аналогично ЛПО2.

3.3. Проектирование продольного профиля трассы левоповоротных соединительных ответвлений ЛПО.

По ТКП 509–2014, на совмещенных соединительных ответвлениях расчетная скорость движения принимается равной 60км/час, если основная дорога имеет расчетную скорость 100км/час. И 8 км/час, если расчетная скорость на основной дороге 120–140км/час.

Расчетной скорости соответствуют минимальные величины радиусов выпуклых и вогнутых вертикальных кривых. При расчетной скорости 80км/час рекомендуются радиусы выпуклых кривых 4000м, вогнутых 2000м и расстояние видимости для остановки 100м. При расчетной скорости 60км/час рекомендуются радиусы выпуклых вертикальных кривых 2000м, вогнутых - 1000м. Расчетное расстояние видимости равно 60м.

Продольный уклон левоповоротных соединительных отклонений следует принимать не более 50%. В стесненных условиях на неполных транспортных развязках величина продольного уклона может быть увеличена до 60% на подъеме и до 70% на спуске.

На транспортной развязке «неполный ромб» на второстепенной дороге 2 имеются пересечения в одном уровне потоков, поворачивающих налево соединительных ответвлений ЛПО и ЛПО. В этих условиях второстепенная дорога 2 является главной по отношению к ЛПО1 и ЛПО2, а ЛПО1 и ЛПО2 второстепенными.

По ТКП 509–2014 на пересечении в одном уровне продольный уклон второстепенной дороги должен быть не более 25% на протяжении 20м от кромки главной дороги, а главной дороги не более 40% на расстоянии видимости для остановки.

Продольный профиль трассы левоповоротных соединительных ответвлений проектируют с учетом изложенный выше требований к продольным уклонам и радиусам, а также с учетом *контрольных точек* в зоне отмыкания ЛПО от пересекающихся дорог и примыкания к ним.

Контрольная точка связывает продольный профиль оси соединительного ответвления и продольный профиль дороги, к которой примыкает ЛПО или от которой оно отмыкает.

Каждая контрольная точка характеризуется тремя параметрами: пикетным положением на ЛПО, высотной отметкой и продольным уклоном.

3.3.1. Определение параметров контрольных точек ЛПО в зоне второстепенной дороги

Рассмотрим соединительные ответвления СО1 (рис. 3.2.2) и СО2 (рис. 3.2.5).

Левоповоротное соединительное ответвление ЛПО1 отмыкает от дороги 2 в точке $A_{п1}$ на пикете $РК_2(A_{п1})$, а ЛПО2 примыкает к дороге 2 на пикете $РК_2(A_{п2})$ (рис. 3.2.4). Контрольными точками являются точки пересечения кромки укрепленной полосы дорожного полотна дороги 2 и оси полосы движения автомобиля поворачивающего налево (рис. 3.2.4). Таким образом, контрольными точками в зоне второстепенной дороги на СО1 и СО являются точки m_1 на ЛПО1 и m_2 на ЛПО2.

Точка m_1 смещается вдоль второстепенной дороги 2 по направлению к ВУЛ1 на величину ℓ_{m1} от начала ЛПО1, а точка m_2 на величину ℓ_{m2} от конца ЛПО2. Значения ℓ_{m1} и ℓ_{m2} вычислим по формулам (3.3.1):

$$\ell_{m1} = \sqrt{2Rf_1 - f_1^2}; \quad (3.3.1, a)$$

$$\ell_{m2} = \sqrt{2Rf_2 - f_2^2}, \quad (3.3.1, б)$$

где R – радиус круговой кривой на ВУЛ1 и ВУЛ2;

f_1, f_2 – отклонение оси криволинейной части ЛПО1 и ЛПО2 от хорды, проведенной через точки m_1 и m_2 , вычисляются по формулам:

$$f_1 = 1,5b + c; \quad (3.3.2, a)$$

$$f_2 = 2,5b + c, \quad (3.3.2, б)$$

где b, c – ширина полосы движения и укрепленной полосы второстепенной дороги.

Пикетное положение контрольных точек m_1 и m_2 в пикетаже дороги 2 вычислим по формулам (3.3.3):

$$PK_2(m_1) = PK_2(A_{л1}) \pm \ell_{m1}; \quad (3.3.3, a)$$

$$PK_2(m_2) = PK_2(A_{л2}) \pm \ell_{m2}. \quad (3.3.3, б)$$

Знаки «+» и «-» зависят от направления пикетажа дороги 2.

Пикетное положение точек m_1 и m_2 в пикетаже ЛПО1 и ЛПО2:

$$PK_{ЛПО1}(m_1) = PK_{ЛПО1}(A_{л1}) + Km_1; \quad (3.3.4, a)$$

$$PK_{ЛПО2}(m_2) = PK_{ЛПО2}(A_{л2}) - Km_2, \quad (3.3.4, б)$$

где Km_1 – длина дуги от начала ЛПО1 (рис. 3.2.4) до контрольной точки m_1 , вычисляется по формуле (3.3.5, а);

Km_2 – длина дуги от конца ЛПО2 до контрольной точки m_2 , вычисляется по формуле (3.3.5, б):

$$Km_1 = \arcsin(\ell_{m1} / R) \cdot \pi R / 180; \quad (3.3.5, a)$$

$$Km_2 = \arcsin(\ell_{m2} / R) \cdot \pi R / 180. \quad (3.3.5, б)$$

Высотные отметки контрольных точек m_1 и m_2 вычисляются по формулам:

$$H_{ЛПО1}(m_1) = H_2(m_1) - 1,5bi_n; \quad (3.3.6, a)$$

$$H_{ЛПО2}(m_2) = H_2(m_2) - 1,5bi_n, \quad (3.3.6, б)$$

где $H_2(m_1)$, $H_2(m_2)$ – отметки продольного профиля дороги 2 на пикетах $PK_2(m_1)$ и $PK_2(m_2)$;

b – ширина полосы движения;

i_n – поперечный уклон проезжей части ($i_n = 20\%$),

Продольный уклон в контрольной точке m_1 равен $i_{m1} = 25\%$, в контрольной точке m_2 $i_{m2} = 25\%$.

Соединительное ответвление СО3 и СО4 (рис. 3.2.1) включает ЛПО3 и ЛПО4. Левоповоротное соединительное ответвление ЛПО3 отмыкает от дороги 2 на пикете $PK_2(A_{л3})$, а ЛПО4 примыкает к дороге 2 на пикете $PK_2(A_{л4})$. Контрольными являются точки пересечения кромок укрепленных полос дороги 2 с осью ЛПО3 (точка m_3) и осью ЛПО4 (m_4).

Методика определения параметров контрольных точек m_3 и m_4 аналогична методике определения параметров точек m_1 и m_2 . В формулах (3.3.3), (3.3.4) следует заменить обозначения m_1 на m_3 , m_2 на m_4 , $A_{л1}$ на $A_{л3}$, $A_{л2}$ на $A_{л4}$. Так как пикетаж на дороге 2 направлен от точки О пересечения осей дорог к ВУЛЗ, то в формулах (3.3.3) и (3.3.4) знаки «+», «-» меняются на противоположные.

Уклоны продольного профиля в контрольных точках m_1 , m_2 , m_3 и m_4 принимаются равными $i_{m3} = i_{m1} = -25\%$, $i_{m4} = i_{m2} = 25\%$.

3.3.2. Определение контрольных точек на ЛПО в зоне главной дороги

Трасса левоповоротных соединительных ответвлений ЛПО1 и ЛПО3 заканчивается в точках A_1 (рис.3.2.6) и A_3 (рис.3.2.7). Эти точки являются концом закругления малого радиуса на ВУ1 и ВУ3. Закругление малого радиуса состоит из двух переходных кривых длиной L и круговой кривой. Точки A_1 и A_3 являются концом этих переходных кривых.

Левоповоротные соединительные ответвления ЛПО2 и ЛПО4 начинаются в точках A_2 (рис.3.2.8) и A_4 (рис.3.2.9) закругления малого радиуса на ВУ2 и ВУ4.

Точки A_2 и A_4 являются началом переходной кривой длиной L этих закруглений.

Контрольными точками продольного профиля ЛПО в зоне главной дороги являются точки K на переходной кривой (рис.3.2.6 – рис.3.2.9). В сечении, проходящем через точку K на переходной кривой происходит расхождение кромок укрепленных полос ЛПО и главной дороги №2 или их схождение (рис. 3.3.1). Продольный профиль трассы ЛПО на участке АК от начала переходной кривой до точки K соответствует продольному профилю трассы главной дороги. После контрольной точки K на участке KB проектируют продольный профиль трассы ЛПО самостоятельно, независимо от продольного профиля главной дороги.

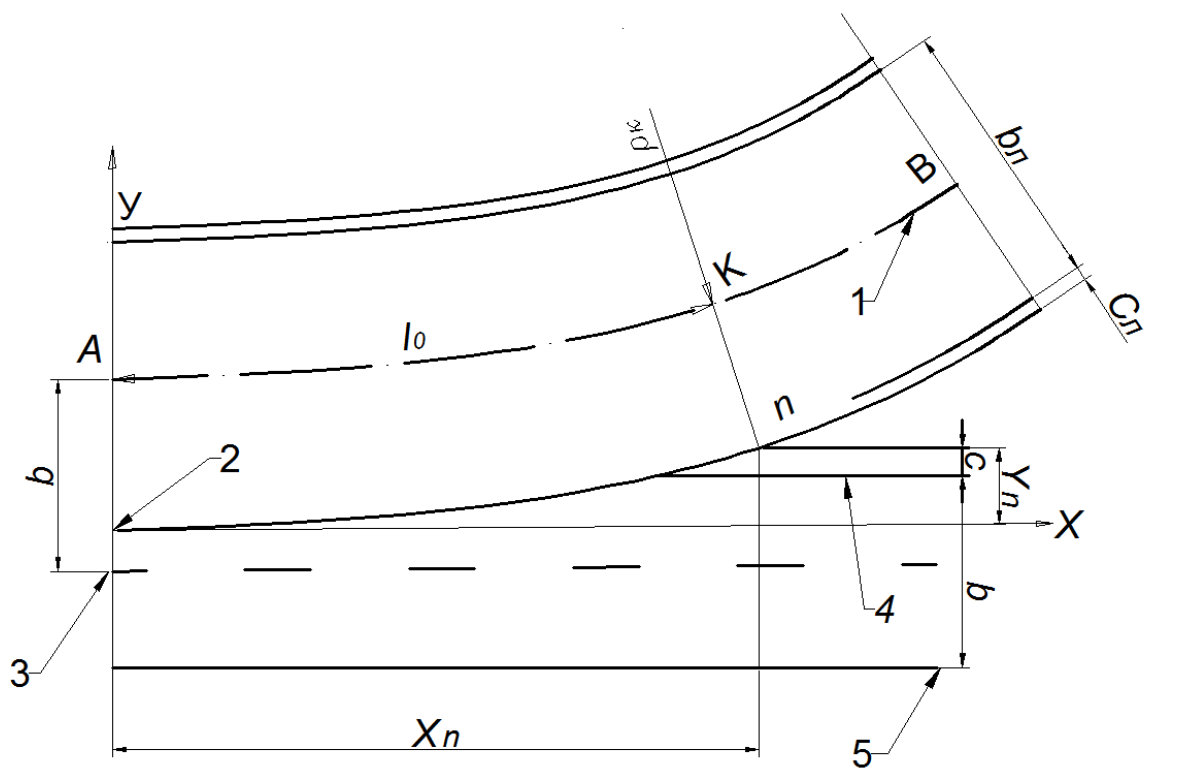


Рис. 3.3.1. Схема к определению величин l_0 и x_n на ЛПО1 и ЛПОЗ:

1 - ось ЛПО1 и ЛПОЗ; 2 - кромка укрепленной полосы ЛПО1 и ЛПОЗ; 3-ось полосы разгона; 4-ось крайней полосы движения главной дороги; 5-кромка проезжей части крайней полосы движения.

Параметрами контрольной точки К на ЛПО в зоне главной дороги является пикетное положение точки К на ЛПО, высотная отметка точки К и продольный уклон трассы ЛПО в точке К. Для определения этих параметров контрольной точки К предварительно вычисляют расстояние l_0 от начала переходной кривой до точки К на переходной кривой, и расстояние x_n между сечениями на главной дороге, проходящими через начало переходной кривой и через точку п схождения или расхождения кромок укрепленных полос ЛПО и главной дороги.

Так как на ВУ1-ВУ4 углы поворота γ , радиусы R и длины переходных кривых L одинаковы, то расстояние l_0 от начала или конца переходной кривой до точки К и величина x_n одинаковы на примыканиях ЛПО1 и ЛПОЗ от главной дороги №1. Вычислим их значения l_0 и x_n .

3.3.2.1. Определение величин l_0 и x_n на ЛПО1 и ЛПОЗ

Пусть проезжая часть ЛПО1 в сечении, проходящем через точку A_1 (рис. 3.3.1) переходит в проезжую часть полосу разгона таким образом, чтобы расстояние между осью 3 полосы разгона (точка A_1) и осью 4 крайней полосы дороги №1 было равным ширине проезжей части полосы 3 в соответствии с категорией главной дороги.

Назначим начало декартовой системы координат x, y в конце укрепленной полосы ЛПО1 (рис.3.3.1, точка 2). Ось x направим параллельно оси полосы 4.

Внешняя кромка укрепленной полосы 2 является клотоидой. Её уравнение

$$\rho_k = (R_{кр} \cdot L_{кр}) / S_{кр}, \quad (3.3.7)$$

где ρ_k – текущий радиус кривизны кромки укрепленной полосы на расстоянии $S_{кр}$ от начала кромки;

$R_{кр}$ - радиус кривизны кромки в конце переходной кривой кромки длиной $L_{кр}$, вычисляются по формулам:

$$R_{кр} = R + 0,5b_{л} + c_{л}; \quad L_{кр} = L \cdot R_{кр} / R,$$

где R, L – радиус круговой кривой и длина переходной кривой трассы ЛПО1;
 b_l, c_l – ширина полосы движения и укрепленной полосы ЛПО1.

Точка n схождения кромок укрепленных полос находится на расстоянии ℓ_n от начала кромки укрепленной полосы (рис. 3.3.1, точка 2).

$$\ell_n = \sqrt[3]{6R_{кр}L_{кр}Y_n}, \quad (3.3.8)$$

где u_n – отклонение точки расхождения кромок укрепленных полос от оси x .

$$Y_n = (b_l - b) / 2 + c_l + c, \quad (3.3.9)$$

где b, b_l – ширина полосы движения главной дороги и проезжей части ЛПО;
 c_l, c – ширина укрепленной полосы ЛПО и дороги №2.

Координата точки n на оси x :

$$x_n = \ell_n - \ell_n^3 / [40(R_{кр} \cdot L_{кр})^2]. \quad (3.3.10)$$

Расстояние от начала ЛПО1 (рис. 3.3.1, точка A_1) до контрольной точки K на ЛПО1:

$$\ell_0 = \ell_n \cdot \rho_k / \rho_n, \quad (3.3.11)$$

где ρ_k, ρ_n – радиусы кривизны оси ЛПО1 в точке K и кромки укрепленной полосы ЛПО1 в точке n , вычисляются по формулам (3.3.12):

$$\rho_n = R_{кр} \cdot L_{кр} / \ell_n; \quad \rho_k = \rho_n - (c_l + b_l / 2), \quad (3.3.12)$$

где c_l, b_l – см. (8.3.12).

3.3.2.2. Определение величин ℓ_0 и x_n на ЛПО2, ЛПО4

Соединительные ответвления ЛПО2 и ЛПО4 отмыкают от главной дороги (рис. 3.2.8, 3.2.9). Проезжая часть ЛПО2(ЛПО4) в сечении, проходящем через точку A_2 (рис. 3.3.2), является продолжением полосы торможения.

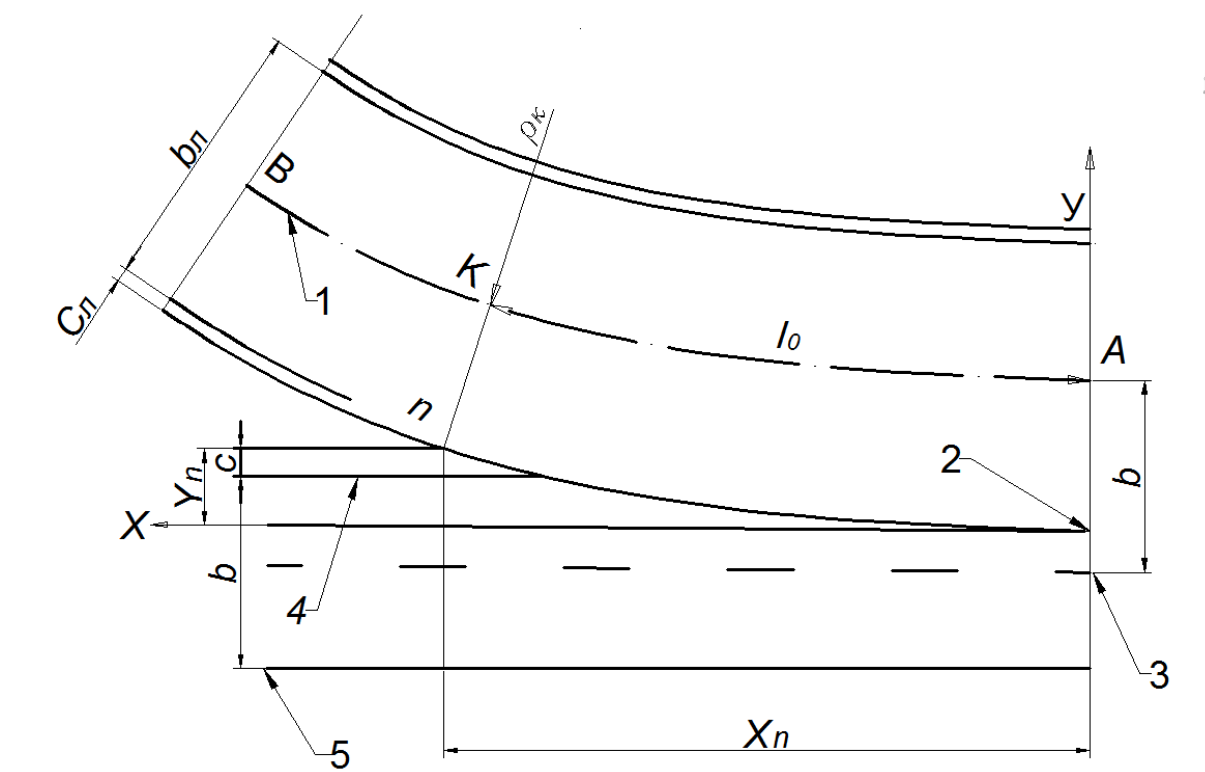


Рис. 3.3.2. Схема определения величин l_0 x_n на ЛПО2 и ЛПО4:
1–ось ЛПО2 и ЛПО4; 2–кромка укрепленной полосы ЛПО2 и ЛПО4; 3–ось полосы торможения; 4–ось и кромка полосы движения главной дороги.

Схема определения величин контрольных точек на ЛПО2 и ЛПО4 является зеркальным отображением относительно оси Y схемы определения контрольных точек на ЛПО1 и ЛПО3. В связи с этим величины координаты x_n , расстояния l_0 для ЛПО2 и ЛПО4 принимают одинаковыми как и для ЛПО1, ЛПО3.

3.3.2.3. Определение параметров контрольных точек на ЛПО в зоне главной дороги

Пикетное положение точки n схождения или расхождения кромок укрепленных полос ЛПО и дороги №1 в пикетаже дороги №1:

$$PK1(n_i) = PK1(A_i) \pm x_n, \quad (3.3.13)$$

где $i = 1, 2, 3, 4$ – индекс при точках n и A , соответствующий номеру ЛПО.

$PK1(A_i)$ – см. (3.2.18), (3.2.24).

Пикетное положение точки K на ЛПО:

$$PK_{ЛПО_i}(K_i) = PK_{ЛПО_i}(A_i) \pm l_0, \quad (3.3.14)$$

где $PK_{ЛПО_i}(A_i)$ – см. (3.2.20), (3.2.22).

В формулах (3.3.13), (3.3.14.) знак «+» или «-» зависит от номера ЛПО и направления пикетажа на дороге №1. Если пикетаж направлен от ВУ1 к ВУ2 (рис. 3.2.6), то знак «+» принимается при $i=1, 4$ (ЛПО1, ЛПО4) и знак «-» при $i=2, 3$ (ЛПО2, ЛПО3).

Высотная отметка точек K на ЛПО:

$$H_{ЛПО_i}(K_i) = H1(n_i) - i_n(b + c + c_л + b_л / 2), \quad (3.3.15)$$

где $H1(n_i)$ – высотная отметка продольного профиля трассы главной дороги №1, определяется по данным о продольном профиле дороги №1 на пикете $PK_i(n_i)$;

i_n – поперечный уклон проезжей части дороги №1;

b, c, b_n, c_n – см. (3.3.9).

Продольные уклоны в контрольных точках на ЛПО принимают одинаковыми с продольными уклонами продольного профиля главной дороги на пикете РК1(n_i), округляя их до 0,001. Знак уклона в контрольной точке зависит от номера ЛПО и направления пикетажа. Если пикетаж направлен от ВУ2 к ВУ1, то при $i=1,2$ (ЛПО1, ЛПО4) знак уклона ЛПО соответствует знаку уклона продольного профиля дороги №1, при $i=3,4$ (ЛПО3, ЛПО4) знак уклона ЛПО противоположный знаку продольного уклона дороги №1.

3.3.3. Расчет элементов продольного профиля трассы левоповоротных соединительных ответвлений

Элементами продольного профиля трассы левоповоротных соединительных ответвлений ЛПО являются продольные уклоны, радиусы вертикальных кривых, тангенсы вертикальных кривых, высотные отметки.

Продольный профиль ЛПО1 проектируют по нисходящей линии (рис. 3.3.3).

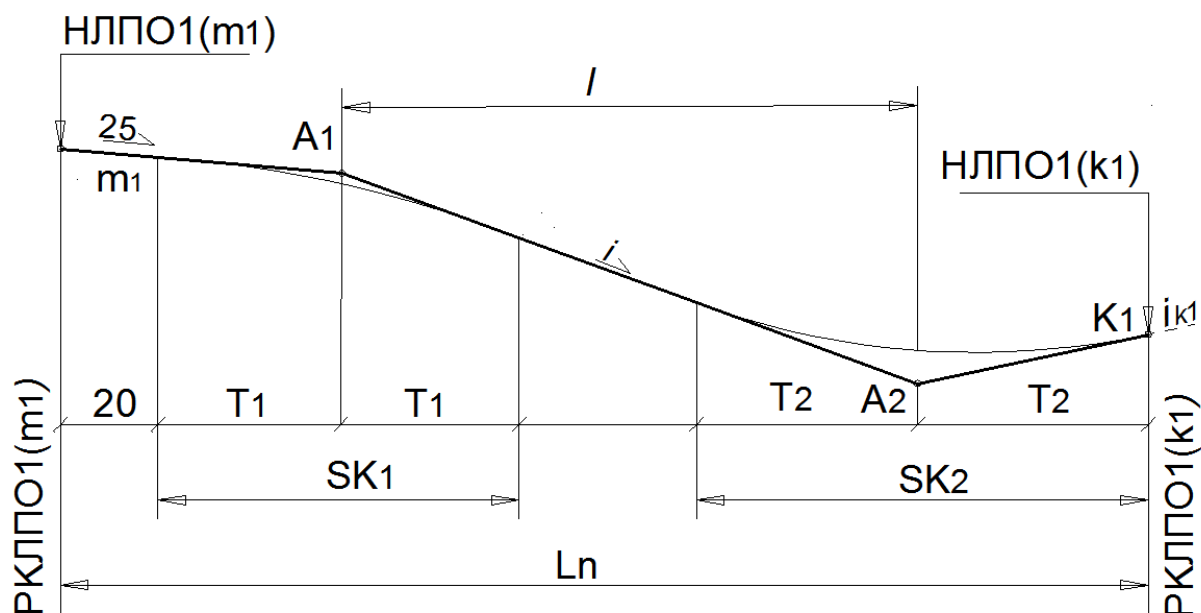


Рис. 3.3.3. Схема к проектированию продольного профиля ЛПО1.

Контрольными точками продольного профиля трассы ЛПО1 являются точки m_1 и k_1 . В контрольной точке m_1 назначают продольный уклон 25‰.

Пикетное положение контрольных точек m_1 и k_1 определяется по формулам (3.3.3а) и (3.3.3б). Высотные отметки точек m_1 и k_1 вычисляются по формулам (3.3.6, а) и (3.3.15).

Продольный уклон i_{k_1} определяется по данным продольного профиля дороги 1 на РК1(n_i), определяемом по (3.3.13).

Вычисляют длину проектируемого продольного профиля ЛПО1 от контрольной точки m_1 до контрольной точки k_1 :

$$L_n = PK_{\text{лпо1}}(k_1) - PK_{\text{лпо1}}(m_1), \quad (3.3.16)$$

где $PK_{\text{лпо1}}(k_1)$, $PK_{\text{лпо1}}(m_1)$ – см. (3.3.14, 3.3.3, а).

Ломаный продольный профиль ЛПО1 состоит из трех отрезков прямых с переломами в точках A_1 и A_2 . Назначают продольный уклон отрезка m_1A_1 равным 25‰, и отрезка A_2K_1 равным i_{k_1} . Величину уклона i_{k_1} определяют по методике, изложенной в §3.3.2.3.

Продольный уклон отрезка A_1A_2 предварительно назначают равным 50‰.

В переломах A_1 и A_2 ломаного продольного профиля трассы ЛПО1 вписывают вертикальные кривые. Рекомендуется принять радиусы выпуклых вертикальных кривых 4000 м, вогнутых 2000 м.

Длины KS вертикальных кривых и тангенсы T кривых вычисляют по формулам:

$$SK_1 = R_1 \cdot \omega_1; \quad T_1 = SK_1 / 2; \quad (3.3.17, a)$$

$$SK_2 = R_2 \cdot \omega_2; \quad T_2 = SK_2 / 2, \quad (3.3.17, б)$$

где ω_1, ω_2 – переломы продольного профиля трассы ЛПО1 в точках A_1 и A_2 , равные алгебраической разности уклонов соседних отрезков прямых:

$$\omega_1 = -0,025 - (-0,050) = 0,025,$$

$$\omega_2 = -0,050 - (\pm i_{k1}).$$

Расстояние между точками A_1 и A_2 (рис. 3.5.3.4): ;;;;4

$$\ell = L_{\text{п}} - (20 + T_1 + T_2). \quad (3.3.18)$$

Далее вычисляют высотные отметки переломов A_1 и A_2 по формулам (3.3.19) и превышение между точками A_1 и A_2 по формуле (3.3.20):

$$H_{\text{ЛПО1}}(A_1) = H_{\text{ЛПО1}}(m_1) - 0,025(20+T_1), \quad (3.3.19, a)$$

$$H_{\text{ЛПО1}}(A_2) = H_{\text{ЛПО1}}(k_1) \pm i_{k1}T_2, \quad (3.3.19, б)$$

$$h = H_{\text{ЛПО1}}(A_2) - H_{\text{ЛПО1}}(A_1), \quad (3.3.20)$$

где $H_{\text{ЛПО1}}(m_1), H_{\text{ЛПО1}}(k_1)$ – см. (3.3.6, а, 3.3.15).

Вычисленные по формулам (3.3.18) и (3.3.20) значения величин ℓ и h округляют с точностью до 0,01м и определяют уклон среднего отрезка A_1A_2 ломаного продольного профиля ЛПО1:

$$i = h / \ell. \quad (3.3.21)$$

Полученный по (3.3.21) уклон округляют до значимой величины i . При значимой величине уклона i и принятой длине ℓ превышение $h = i \cdot \ell$ должно быть равно вычисленному по формуле (3.3.21).

В зависимости от величины продольного уклона i , полученного по формуле (3.3.21), возможны два случая:

случай 1. $i \leq 50\text{‰}$;

случай 2. $i > 50\text{‰}$.

Случай 1. Уклон i принимают для дальнейших расчетов элементов продольного профиля. Вычисляют новые значения переломов ω_{11} и ω_{21} . Оставляют предыдущие значения тангенсов T_1 и T_2 . Корректируют значения радиусов:

$$R_{11} = 2T_1 / \omega_{11}; \quad R_{21} = 2T_2 / \omega_{21}. \quad (3.3.22)$$

Случай 2. Назначают уклон отрезка A_1A_2 (рис. 3.3.5) равным 60‰. Вычисляют переломы продольного профиля и величины тангенсов T_{12} и T_{22} по формуле (3.3.17), расстояние ℓ между переломами A_1 и A_2 по (3.3.18), превышение h между ними по (3.3.20) и уклон прямой A_1A_2 по (3.3.21). Если полученный уклон не превышает 60‰, то принимают этот уклон для дальнейшего расчета элементов продольного профиля. Вычисляют новые значения переломов ω_{12} и ω_{22} . Оставляют предыдущие значения тангенсов T_{12} и T_{22} и вычисляют новые значения радиусов:

$$R_{12} = 2T_{12} / \omega_{12}; \quad R_{22} = 2T_{22} / \omega_{22}. \quad (3.3.23)$$

Полученные по формулам (3.3.22) и (3.3.23) значения радиусов округляют до *значимых* величин. При округленной величине радиуса R_0 вычисленный тангенс $T_0 = R_0 \cdot \omega / 2$ равен принятому предыдущему.

Высотные отметки продольного профиля ЛПО1 определяют на основе ломаного продольного профиля (рис. 3.3.4).

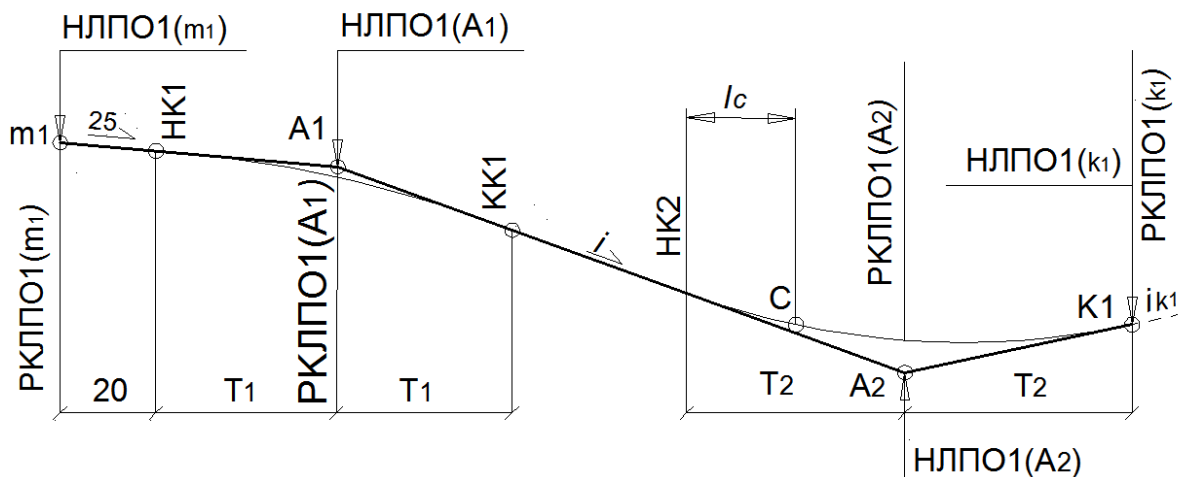


Рис. 3.3.4. Схема к расчету высотных отметок продольного профиля ЛПО1.

Исходными данными являются пикетное положение, высотные отметки и уклоны в контрольных точках m_1 и k_1 . По формулам (3.3.19) определены высотные отметки переломов A_1 и A_2 , обоснованы радиусы выпуклых кривых R_1 и вогнутых R_2 , определены тангенсы вертикальных кривых T_1 и T_2 .

Пикетное положение переломов A_1 и A_2 вычисляют по формулам:

$$PK_{\text{ЛПО1}}(A_1) = PK_{\text{ЛПО1}}(m_1) + 20 + T_1, \quad (3.3.24, \text{ а})$$

$$PK_{\text{ЛПО1}}(A_2) = PK_{\text{ЛПО1}}(k_1) - T_2. \quad (3.3.24, \text{ б})$$

Пикетное положение начала кривых НК конца кривых КК:

$$PK_{\text{ЛПО1}}(НК_i) = PK_{\text{ЛПО1}}(A_i) - T_i, \quad (3.3.25, \text{ а})$$

$$PK_{\text{ЛПО1}}(КК_i) = PK_{\text{ЛПО1}}(A_i) + T_i. \quad (3.3.25, \text{ б})$$

Высотные отметки начала и конца кривых:

$$H_{\text{ЛПО1}}(НК_1) = H_{\text{ЛПО1}}(A_1) - 0,025T_1; \quad (3.3.26, \text{ а})$$

$$H_{\text{ЛПО1}}(КК_1) = H_{\text{ЛПО1}}(A_1) - i \cdot T_1; \quad (3.3.26, \text{ б})$$

$$H_{\text{ЛПО1}}(НК_2) = H_{\text{ЛПО1}}(A_2) + i \cdot T_2; \quad (3.3.27, \text{ а})$$

$$H_{\text{ЛПО1}}(КК_2) = H_{\text{ЛПО1}}(A_2) \pm i_{k1} \cdot T_2. \quad (3.3.27, \text{ б})$$

Высотные отметки промежуточных точек на вертикальных кривых вычисляют по схеме расположения начала координат в начало или конец кривой:

$$H_{\text{ЛПО1}}(C) = H_{\text{ЛПО1}}(НК_2) - i \cdot \ell_c + \ell_c^2 / 2R_2, \quad (3.3.28)$$

где ℓ_c – расстояние от начала кривой ($НК_2$) до точки C :

$$\ell_c = PK_{\text{ЛПО1}}(C) - PK_{\text{ЛПО1}}(НК_2).$$

Продольный профиль ЛПО3 проектируют по нисходящей линии аналогично ЛПО1. Контрольными точками продольного профиля трассы ЛПО3 являются точки m_3 и k_3 . В контрольной точке m_3 назначают уклон 25‰.

Методика расчета элементов продольного профиля трассы ЛПО3 повторяет методику проектирования продольного профиля трассы ЛПО1.

Продольный профиль ЛПО2 проектируют по восходящей линии (рис. 3.3.5).

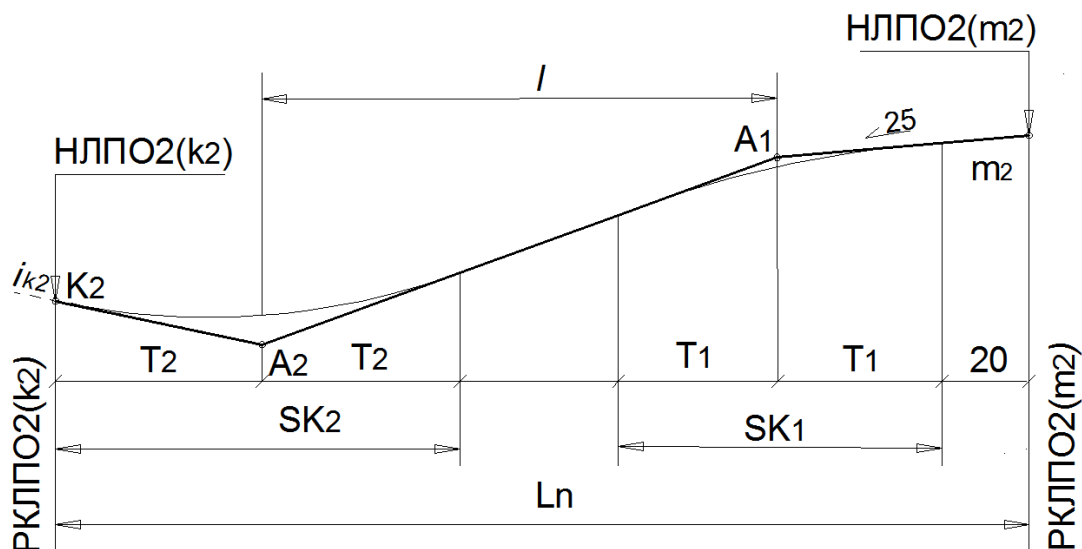


Рис. 3.3.5. Схема проектирования продольного профиля ЛПО2.

Контрольными точками продольного профиля трассы ЛПО2 являются точки k_2 и m_2 . В контрольной точке m_2 в соответствии с ТКП 509–2014 назначим продольный уклон 25‰. Этот уклон сохраним на протяжении 20м продольного профиля.

Пикетное положение контрольных точек k_2 и m_2 определяют по формулам (3.3.16) и (3.3.4, б). Высотные отметки точки k_2 и m_2 вычисляют по формулам (3.3.15) и (3.3.6, б) с учетом данных продольного профиля дороги 1 и дороги 2.

Расчет элементов продольного профиля ЛПО2 вычисляют по методике, рассмотренной ранее при расчете элементов продольного профиля ЛПО1.

Продольный профиль ЛПО4 проектируют по восходящей линии (рис. 3.3.5) аналогично продольному профилю ЛПО2. Контрольными точками продольного профиля трассы ЛПО4 являются точки m_4 и k_4 .

Пикетное положение точек m_4 и k_4 определяется по формулам (3.3.14) и (3.3.3, б). Высотная отметка точки k_4 вычисляется по формуле (3.3.15) исходя из отметки продольного профиля дороги 1 в сечении, проходящем через точку n расхождения кромок укрепленных полос ЛПО4 и дороги 1 на пикете РК1(n_4), определяют по формуле (3.3.15).

Высотная отметка контрольной точки m_4 вычисляется по формуле (3.3.6, б) заметив m_2 на m_4 :

$$N_{\text{ЛПО4}}(m_4) = N_2(m_4) - 1,5l \cdot i_n.$$

В этой формуле высотная отметка точки m_4 $N_2(m_4)$ определяется по данным продольного профиля дороги 2.

3.4. Проектирование правоповоротных соединительных ответвлений ППО

Проектирование плана и продольного профиля правоповоротных соединительных ответвлений (ППО) выполняют в увязке с планом и продольным профилем левоповоротных соединительных ответвлений (ЛПО), так как ППО и ЛПО составляют общее соединительное ответвление СО.

Проектирование ППО начинается с назначения числа полос движения на совмещенных соединительных ответвлениях, назначения полос торможения на отмыкании от второстепенной дороги и полос разгона на примыкании к ней.

По ТКП 45–3.03–19–2006 полосы торможения и разгона на дорогах II и III категорий следует предусматривать при расчетной интенсивности въезжающих на дорогу или съезжающих с неё автомобилей 200ед/сутки и более.

В случае неполной транспортной развязки «накопительный ромб» ТКП 509–2014 рекомендует двухполосные односторонние соединительные ответвления с устройством только полосы торможения на отмыкании ППО от второстепенной дороги (рис. 3.4.1).

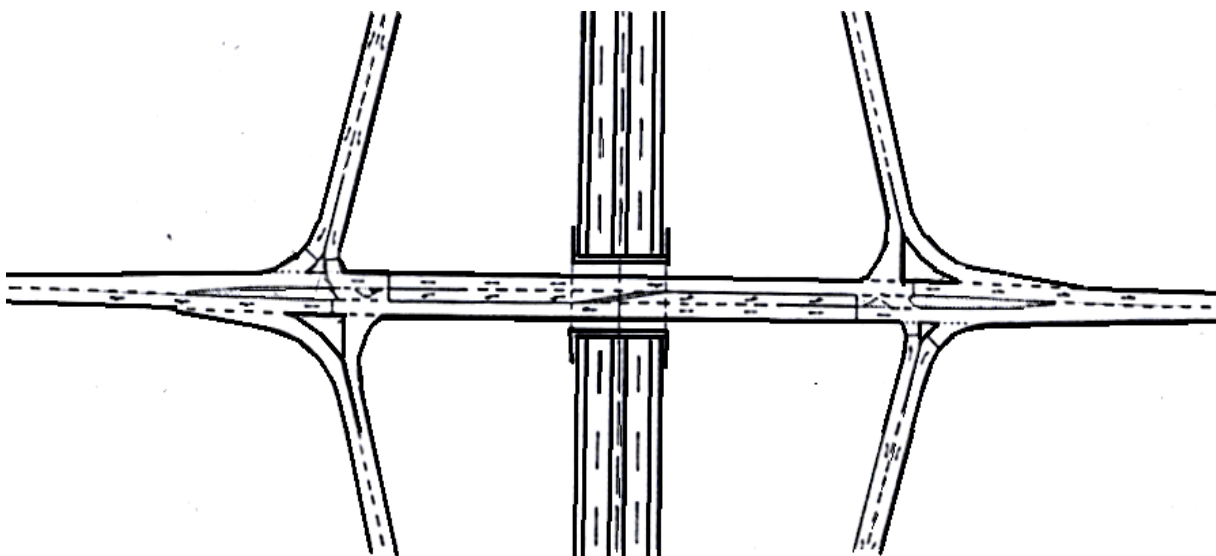


Рис. 3.4.1. Схема плана развязки «накопительный ромб» в зоне второстепенной дороги.

Правоповоротные соединительные ответвления сопрягаются с полосами торможения закруглениями малого радиуса, состоящими из переходных и круговых кривых

3.4.1. Проектирование плана трассы правоповоротного соединительного ответвления ППО1.

Общее соединительное ответвление СО1 включает левоповоротное ЛПО1 и правоповоротное ППО1 соединительные ответвления (рис.3.4.2). Правоповоротное соединительное ответвление ППО1 начинается закруглением малого радиуса. Трасса ППО1 после этого закругления прямая, параллельная трассе ЛПО1. Так как соединительное ответвление СО1 двухполосное, то расстояние между осями прямолинейных участков ППО1 и ЛПО1 равно ширине полосы движения. По ТКП 509–2014 ширина полосы движения принимается 3,50м при расчетной интенсивности движения 3000авт./сутки и более и 3,25м при расчетной интенсивности движения менее 3000авт./сутки.

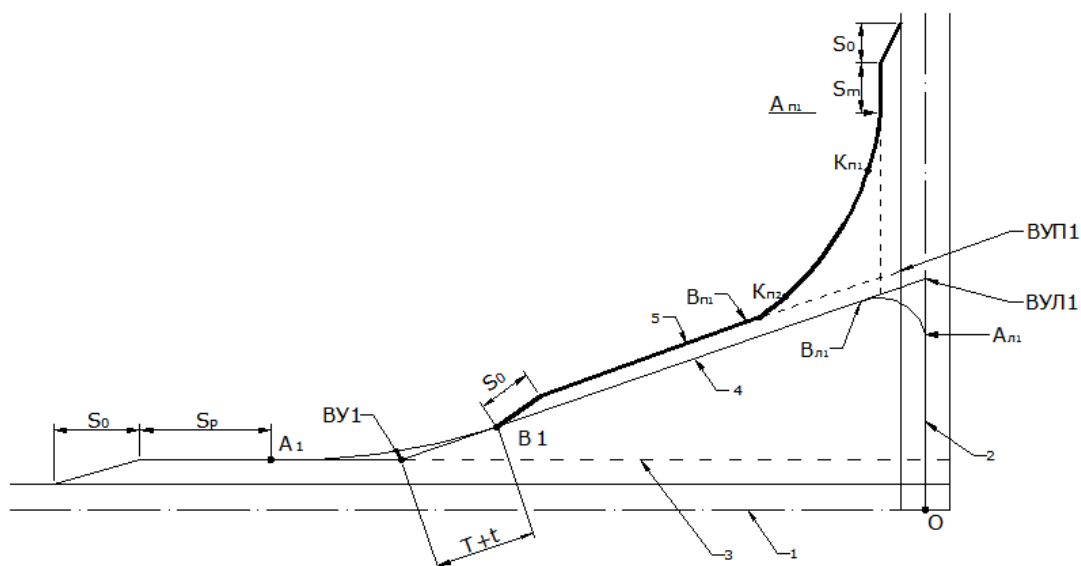


Рис. 3.4.2. Схема плана трассы соединительного ответвления CO1:
1,2 – оси дорог 1 и 2, 3 – ось полосы разгона, 4 – ось ЛПО1, 5 – ось ППО1.

Соединительное ответвление ППО1 заканчивается в зоне примыкания трассы ЛПО1 к главной дороге на ВУ1. Общее соединительное ответвление CO1 к закруглению на ВУ1 подходит с двухполосной проезжей частью. На ВУ1 однополосная проезжая часть ЛПО1 шириной $b_{л1}$ сопрягается с полосой разгона на главной дороге, имеющей ширину $b=3,50$ м. Проектирование этого сопряжения рассмотрено в § 3.2.1.4.

Переход к двухполосной проезжей части общего соединительного ответвления CO1 к однополосной проезжей части ЛПО1 выполним на участке отгона S_0 до начала закругления на ВУ1 (рис.3,4,3).

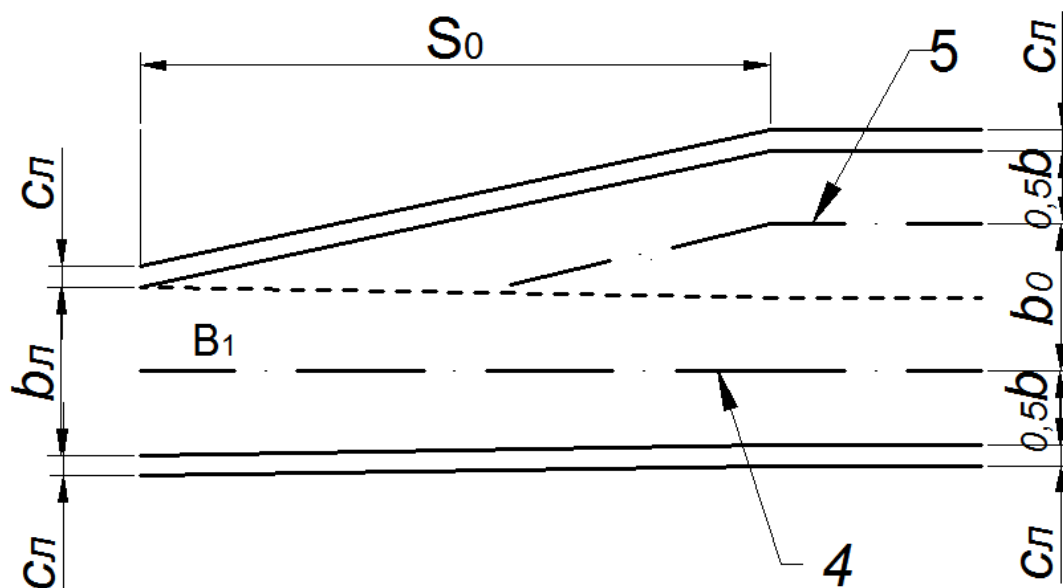


Рис. 3.4.3. Схема перехода от двухполосной проезжей части на CO1 к однополосной на ЛПО1: 4,5 – оси ППО1 и ЛПО1.

Соединительное ответвление ППО1 заканчивается в начале закругления на ВУ1 ЛПО1 (рис.3.4.2, точка В₁) на пикете:

$$PK_{\text{ЛПО1}}(B_1) = PK_{\text{ЛПО1}}(B_{У1}) - (T + t), \quad (3.4.1)$$

где $R_{К\text{ ЛПО1}}(\text{ВУ1})$ – см. (3.2.16);
 T, t – см. (3.2.3 и 3.2.4).

3.4.1.1. Проектирование закругления на ВУП1

Величина угла поворота трассы ППО1 на ВУП1:

$$\varphi_{п1} = 180 - \varphi_{л1}, \quad (3.4.2)$$

где $\varphi_{л1}$ – угол поворота трассы ЛПО1 (рис. 3.2.2).

Вершина угла поворота ВУП1 расположена на оси полосы торможения на пикете:

$$R_{К2}(\text{ВУП1}) = R_{К2}(\text{ВУЛ1}) \pm C_1, \quad (3.4.3)$$

где $R_{К2}(\text{ВУЛ1})$ – см. (3.2.15);

C_1 – смещение ВУП1 относительно ВУЛ1 вдоль оси дороги 2 (рис. 3.4.4), определяется по формуле (3.4.4):

$$C_1 = b_0 / \sin \varphi_{п1} - 2b \cdot \text{ctg} \varphi_{п1}, \quad (3.4.4)$$

где b – ширина полосы движения дороги 2;

b_0 – расстояние между осями полос движения ППО1 и ЛПО1.

Знаки «+» или «-» в формуле (3.4.3) зависит от направления пикетажа дороги 2.

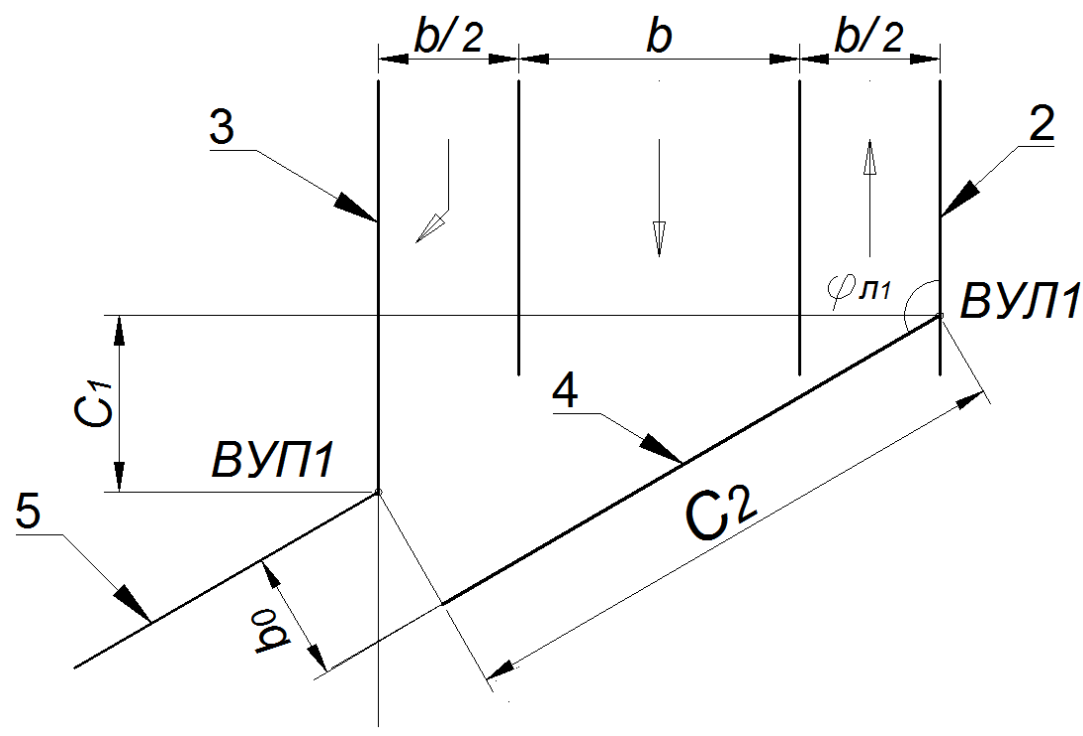


Рис. 3.4.4. Схема к определению смещения ВУП1 относительно ВУЛ1:
 1 – ось ЛПО1; 2 – ось дороги 2; 3 – ось полосы торможения; 4 – ось ЛПО1; 5 – ось ППО1.

План трассы закругления на ВУП1 состоит из переходных кривых длиной $L_{п1}$ и круговой кривой радиуса $R_{п1}$. Максимальная расчетная скорость движения на развязке типа «накопительный клеверный лист» на соединительном ответвлении на отмыкании от дороги III категории 60км/ч. Этой скорости

соответствует $R=120\text{м}$ и длина переходной кривой 75м в свободных условиях проектирования и 45м в стесненных. С целью уменьшения площади развязки в зоне ВУЛ1 и ВУП1 целесообразно уменьшить расчетную скорость до 40км/ч , радиус круговой кривой до 50м и длину переходной до 50м .

После назначения величин радиуса $R_{п1}$ и переходной кривой $L_{п1}$ проверяется условие возможности разбивки закругления на ВУП1:

$$\varphi_{п1} \geq 2\beta_{п1}, \quad (3.4.5)$$

где $\beta_{п1}$ – угол переходной кривой, вычисляется по формуле:

$$\beta_{п1} = ((0,5 \cdot L_{п1}) / R_{п1}) \cdot 180 / \pi, \quad (3.4.6)$$

где $R_{п1}$, $L_{п1}$ – радиус круговой кривой и длина переходной кривой на ВУП1.

Если условие (3.4.5) не выполняется, то следует уменьшить длину переходной кривой как для несвободных условий проектирования и проверить условие (3.4.5).

Если условие (3.4.5) выполнено, то вычисляют все элементы закругления на ВУП1 (рис. 3.4.5).

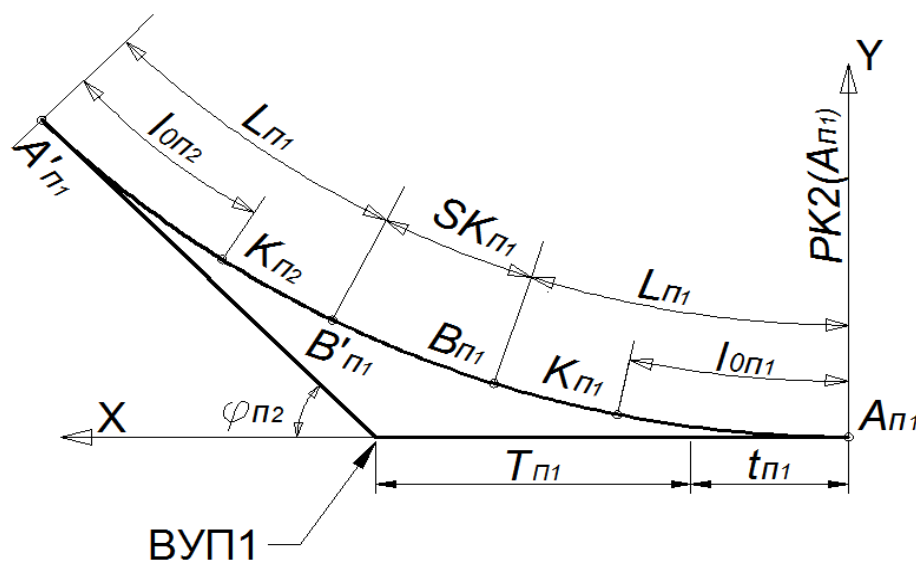


Рис. 3.4.5. Схема закругления на ВУП1.

Смещение $t_{п1}$ и сдвигка $\rho_{п1}$ закругления при введении переходной кривой длиной $L_{п1}$ вычисляется по формулам:

$$t_{п1} = X_{вп1} - R_{п1} \sin\beta_{п1}; \quad \rho_{п1} = Y_{вп1} - R_{п1}(1 - \cos\beta_{п1}), \quad (3.4.7)$$

где $X_{вп1}$, $Y_{вп1}$ – координаты конца переходной кривой, вычисляется по формулам (3.4.8); $\beta_{п1}$ – угол переходной кривой, вычисляется по (3.4.6):

$$X_{вп1} = L_{п1} - L_{п1}^3 / 40R_{п1}^2, \quad Y_{вп1} = L_{п1}^2 / 6R_{п1} - L_{п1}^4 / 336R_{п1}^3, \quad (3.4.8)$$

Тангенс круговой кривой:

$$T_{п1} = (R_{п1} + \rho_{п1}) \operatorname{tg}(\varphi_{п1} / 2), \quad (3.4.9)$$

Длина круговой кривой после введения переходной и домер вычисляют по формулам:

$$SK_{п1} = \pi R_{п1}(\varphi_{п1} - 2\beta_{п1}) / 180; \quad (3.4.10)$$

$$D_{п1} = 2(T_{п1} + t_{п1}) - (2L_{п1} + SK_{п1}). \quad (3.4.11)$$

Пикетное положение начала правоповоротного соединительного ответвления ППО1 и точка $A_{п1}$ (рис. 3.4.5) в пикетаже дороги №2:

$$PK_2(A_{п1}) = PK^2(ВУП1) \pm (T_{п1} + t_{п1}), \quad (3.4.12)$$

где $PK_2(ВУП1)$ – см. (3.4.3).

Знаки «+» или «-» в формуле (3.4.12) зависят от направления пикетажа на дороге №2.

Конец закругления на ВУП1 (точка $A_{п1}$, рис. 3.4.6) в пикетаже ППО1 определяется по формуле (3.4.13) и в пикетаже ЛПО1 по формуле (3.4.14):

$$PK_{ППО1}(A'_{п1}) = 2(T_{п1} + t_{п1}) - D_{п1}, \quad (3.4.13)$$

$$PK_{ЛПО1}(B'_{л1}) = T_{л1} - D_{л1} + T_{п1} + t_{п1} + C_2, \quad (3.4.14)$$

где $T_{п1}$, $t_{п1}$, $D_{п1}$ – тангенсы и домер закругления на ВУП1;

$T_{л1}$, $D_{л1}$ – тангенс и домер закругления на ВУЛ1 по направлению ЛПО1 (рис. 3.4.4), вычисляется по формуле:

$$C_2 = 2b / \sin \varphi_{п1} - b_0 \cdot \operatorname{ctg} \varphi_{п1}, \quad (3.4.15)$$

где b , b_0 – см. (3.4.4).

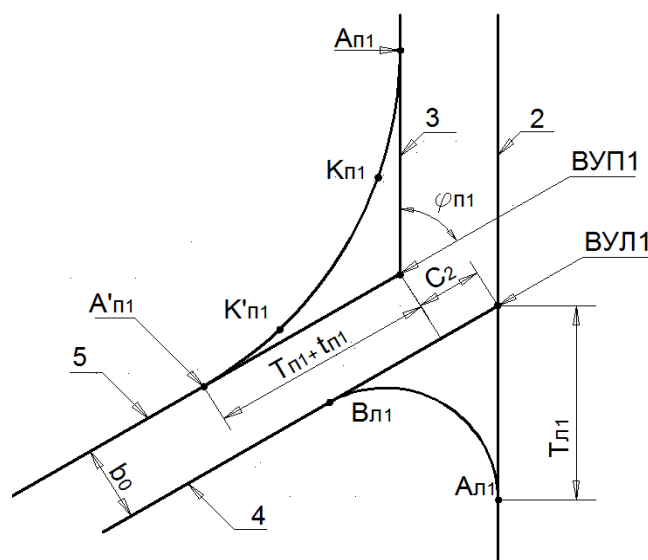


Рис. 3.4.6. Схема сопряжения плана трассы ППО1, ЛПО1 и второстепенной дороги: 2 – ось второстепенной дороги; 3 – ось полосы торможения; 4, 5 – оси ЛПО1 и ППО1.

3.4.2. Проектирование продольного профиля правоповоротного соединительного ответвления ППО1

Контрольными отметками продольного профиля на ППО1 являются точка $K_{п1}$ на отмыкании ППО1 от второстепенной дороги 2 (рис. 3.4.6, 3.4.7) и $K_{п2}$ на примыкании криволинейной проезжей части ППО1 к прямолинейной части ЛПО1 (рис. 3.4.8).

Отмыкание трассы ППО1 от дороги 2 начинается с точки $A_{п1}$ конца полосы торможения (рис. 3.4.7).

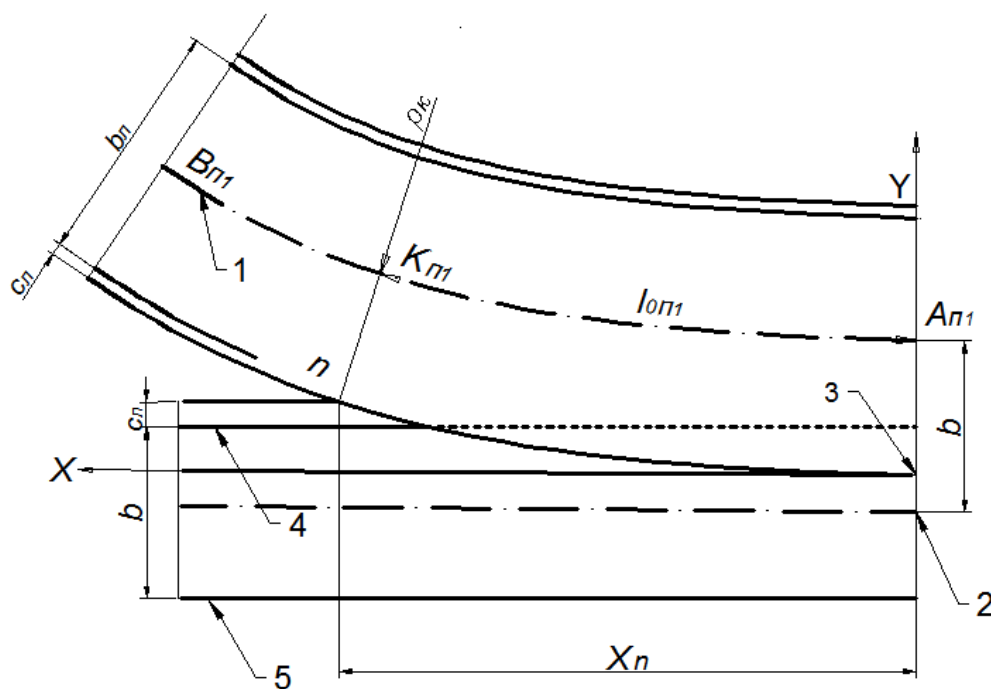


Рис. 3.4.7. Схема к определению контрольной точки K_{n1} на ППО1:

1–ось ППО1; 2–ось полосы движения дороги 2 со стороны полосы торможения; 3, 4–кромки укрепленных полос проезжей части ППО1 и дороги 1.

Пикетное положение контрольной точки K_{n1} на ППО1:

$$PK_{\text{ППО1}}(K_{n1}) = \ell_{он1}, \quad (3.4.16)$$

где $\ell_{он1}$ – расстояние от начала переходной кривой до сечения, в котором расходятся внешняя кромка укрепленной полосы ППО1 и кромка укрепленной полосы дороги 2 (точка n, рис 3.4.7).

Пикетное положение точки n расхождения кромок укрепленных полос в пикетаже второстепенной дороги 2:

$$PK_2(n) = PK_2(A_{n1}) \pm X_{n1}. \quad (3.4.17)$$

где $PK_2(A_{n1})$ – пикетное положение начала ППО1 (рис. 3.4.6.);

X_n – расстояние от начала ППО1 до точки n расхождения кромок укрепленных полос (рис.3.4.7)

Знаки «+» или «-» в формуле (3.4.17) зависят от направления пикетажа дороги 2.

Значения величин $\ell_{он1}$ и X_{n1} определяют по методике, изложенной в §3.3.2.1, принимая в формуле (3.3.11) значение Y_n по зависимости (3.4.18):

$$Y_n = (b_n - b) + C_n, \quad (3.4.18)$$

где b и b_n – ширина полосы движения дороги 2 ($b = 3,50$ м) и проезжей части ППО1 ($b_n = 4,50$ м).

Высотная отметка контрольной точки K_{n1} вычисляется по формуле:

$$H_{\text{ППО1}}(K_{n1}) = H_2(n) - i_n(2b + C_n + b_n/2), \quad (3.4.19)$$

где $H_2(n)$ – отметка продольного профиля дороги 2 на пикете $PK_2(n1)$;

b, b_n – см. (3.4.18).

Уклон продольного профиля ППО1 в контрольной точке K_{n1} принимается равным уклону продольного профиля дороги 2, округляя его до 0,001 (до 1‰).

Примыкание криволинейной части ППО1 к прямолинейной части ЛПО1 показано на рисунке 3.4.6. Расстояние b_0 между осями двухполосной проезжей части общего соединительного ответвления СО1, равно ширине каждой полосы движения.

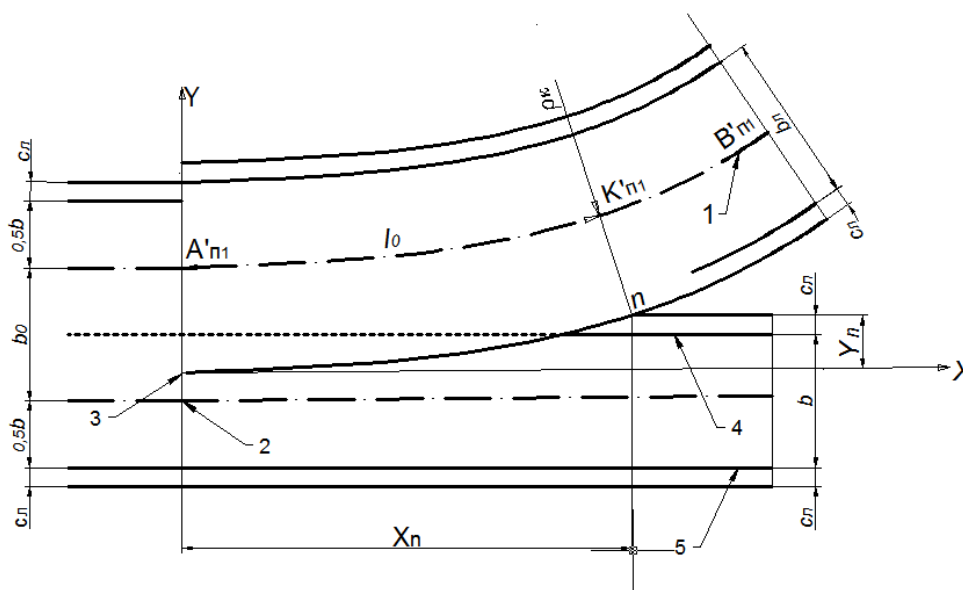


Рис. 3.4.8. Схема к определению контрольной точки $K_{п2}$ на ППО1:
1 – ось ППО1 и ЛПО1; 2 – начало; 3 – внешняя кромка укрепленной полосы ППО1; 4 – кромка проезжей части ЛПО1.

Пикетное положение контрольной точки $K_{п2}$ на ППО1:

$$PK_{ППО1}(K_{п2}) = PK_{ППО1}(B_{п1}) - \ell_{он2}, \quad (3.4.20)$$

где $PK_{ППО1}(B_{п1})$ – см. (3.4.13).

Пикетное положение точки схождения кромки укрепленных полос ППО1 и ЛПО1 в пикетаже ЛПО1:

$$PK_{ЛПО1}(n) = PK_{ЛПО1}(A'_{п1}) - x_n, \quad (3.4.21)$$

где $PK_{ЛПО1}(A'_{п1})$ – см. (3.4.14).

Значения величин ℓ_0 и X_n вычисляют по методике, изложенной в §3.3.2.1. При пользовании этой методикой отклонение Y_n внешней кромки укрепленной полосы ЛПО1 от оси X принимают по зависимости (3.4.22.) в формуле (рис. 3.3.11):

$$Y_n = (b_n + b_{п1}) / 2 - b_0 + c_{л1}. \quad (3.4.22)$$

Высотная отметка контрольной точки $K'_{п1}$ на ППО1:

$$H_{ППО1}(K'_{п1}) = H_{ЛПО1}(n) - i_n(b_{л1} / 2 + c_{л1}) + i_{п1}(c_{п1} + b_{п1} / 2), \quad (3.4.23)$$

где $H_{ЛПО1}(n_2)$ – отметка продольного профиля ЛПО1 в сечении, проходящем через точки А – n_2 на пикете $PK_{ЛПО1}(n)$;

$i_{л1}$ – поперечный уклон проезжей части ЛПО1 ($i_{л1} = 0,020$);

$i_{п1}$ – поперечный уклон проезжей части ППО1 в сечении, проходящем через точку $K'_{п1}$;

$b_{л1}$, $b_{п1}$, $c_{л1}$ и $c_{п1}$ – ширина проезжей части и укрепленных полос ЛПО1 и ППО1 ($b_{л1} = 5,0$; $b_{п1} = 4,50$; $c_{л1} = c_{п1} = 0,25$).

В формуле (3.4.23) принят поперечный уклон проезжей части ЛПО1 по направлению к ППО1. Аналогично поперечный уклон ППО1 направлен в сторону, противоположную ЛПО1.

Продольный уклон ППО1 в контрольной точке $K_{п2}$ принимают равным продольному уклону продольного профиля ЛПО1 на пикете РК ЛПО(n).

Продольный профиль ППО1 на участке от контрольной точки $K_{п1}$ до контрольной точки $K'_{п1}$ проектируют с учетом отметок этих точек и продольных уклонов в них, а также норм проектирования продольного профиля в соответствии с расчетной скоростью, принятой на закруглении плана трассы ППО1 на ВУП1.

Продольный профиль ППО1 на прямолинейном участке трассы ППО1 проходит параллельно продольному профилю ЛПО1 ниже его на величину Δh :

$$\Delta h = i_{п} \cdot b_0,$$

где $i_{п}$ – поперечный уклон проезжей части соединительного ответвления в сторону поля;
 b_0 – расстояние между осями полос движения.

3.4.3. Проектирование правоповоротного соединительного ответвления ППО2.

Общее соединительное ответвление CO2 включает левоповоротное соединительное ответвление ЛПО2 и правоповоротное ППО2 (рис. 3.4.9).

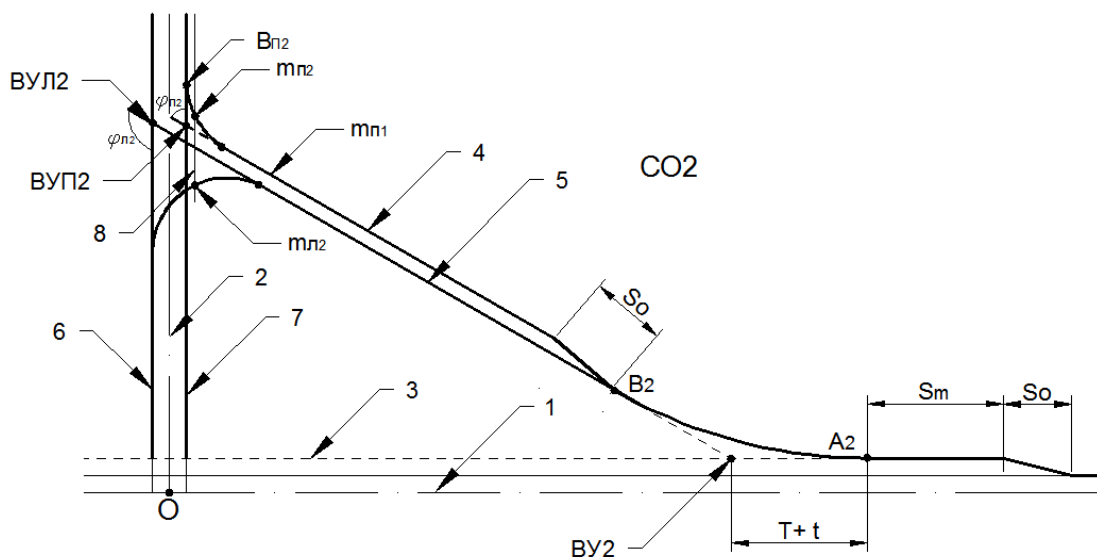


Рис.3.4.9.Схема соединительного ответвления CO2: 1,2 – оси главной и второстепенной дороги; 3 – ось полосы торможения; 4,5 – оси ЛПО2 и ППО2. 6,7 – оси встречных полос движения; 8 – кромка укрепленной полосы.

Началом левоповоротного соединительного ответвления ЛПО2 является начало закругления малого радиуса на ВУ2 (рис.3.2.7, точка A_2). Это закругление состоит из круговой и переходных кривых

Началом правоповоротного соединительного ответвления ППО2 является окончание закругления малого радиуса на ВУ2 (рис.3.4.9, точка B_2). Начало ППО2 в пикетаже ЛПО2 находится на пикете:

$$PK_{ЛПО2}(B_2) = (T + t) - Д, \quad (3.4.23.)$$

где T , t , $Д$ – тангенс круговой кривой, смещение переходной кривой и домер закругления на ВУ2, (см. (3.2.3), (3.2.4) и (3.2.5)).

Проезжая часть закругления малого радиуса на ВУ2 однополосная, шириной 5,0м. Проезжая часть общего соединительного ответвления CO2 двухполосная с шириной каждой полосы движения 3,50 или 3,25м в зависимости от расчетной интенсивности движения на CO2. Поэтому после окончания закругления на ВУ2 предусматривается переход от однополосной проезжей части к двухполосной на протяжении отгона S_0 (рис.3.4.10.).

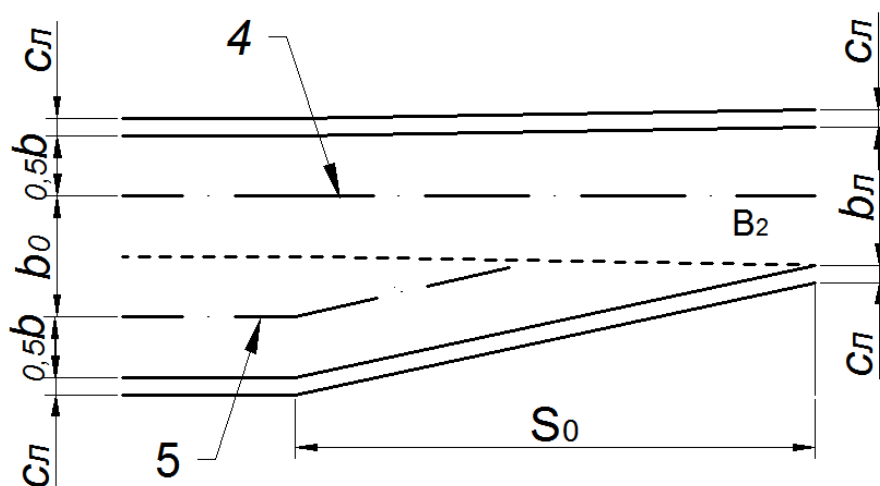


Рис. 3.4.10. Схема образования двухполосной проезжей части CO2 из однополосной проезжей части ЛПО2: 4,5 – оси ЛПО2 и ППО2

По ТКП 509 – 2014 полоса разгона на развязке «накопительный ромб» не предусматривается. При отсутствии полосы разгона прямолинейную часть трассы ППО2 сопрягаем на ВУП2 с осью крайней полосы 7 дороги 2 круговой кривой радиуса R15 (рис.3.4.11).

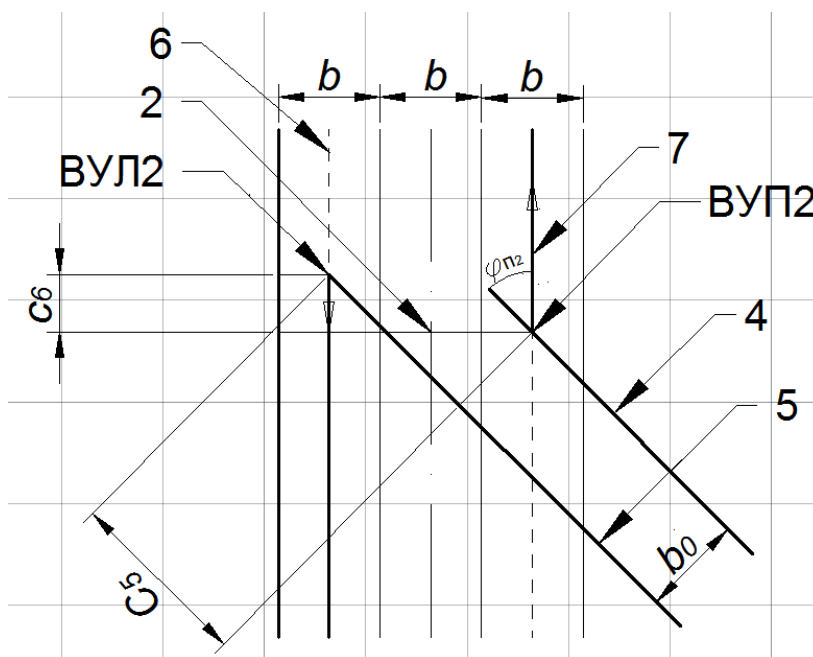


Рис.3.4.11. Схема сопряжения трассы CO2 и осей полос движения на дороге 2: 2 – ось дороги 2; 4,5 – оси ППО2 и ЛПО2(CO2); 6,7 – оси сопряжений полос дороги2.

Пикетное положение вершины угла поворота ВУП2 правоповоротного соединительного ответвления на оси крайней полосы второстепенной дороги №2 в пикетаже дороги2:

$$PK_2(ВУП2) = PK_2(ВУЛ2) \pm C_6, \quad (3.4.24)$$

где C_6 – смещение ВУП2 относительно ВУЛ2 вдоль дороги 2 вычисляется по формуле

$$C_5 = b_0 / \sin \varphi_{п2} - 2b \cdot \operatorname{ctg} \varphi_{п2}. \quad (3.4.25)$$

где b_0 – расстояние между осями ЛПО2 и ППО2;

b – ширина полосы движения по дороге 2 ($b = 3,50\text{м}$);

$\varphi_{п2}$ – угол поворота оси 4 ППО2 на ось примыкания ППО2 к полосе 7 дороги 2:

$$\varphi_{п2} = 180 - \varphi_{л2}$$

Кромки проезжей части ППО2 и дороги 2 на ВУЛ2 сопрягают круговыми кривыми. Начало и конец закруглений вычисляют по схеме простого пересечения.

Приложение

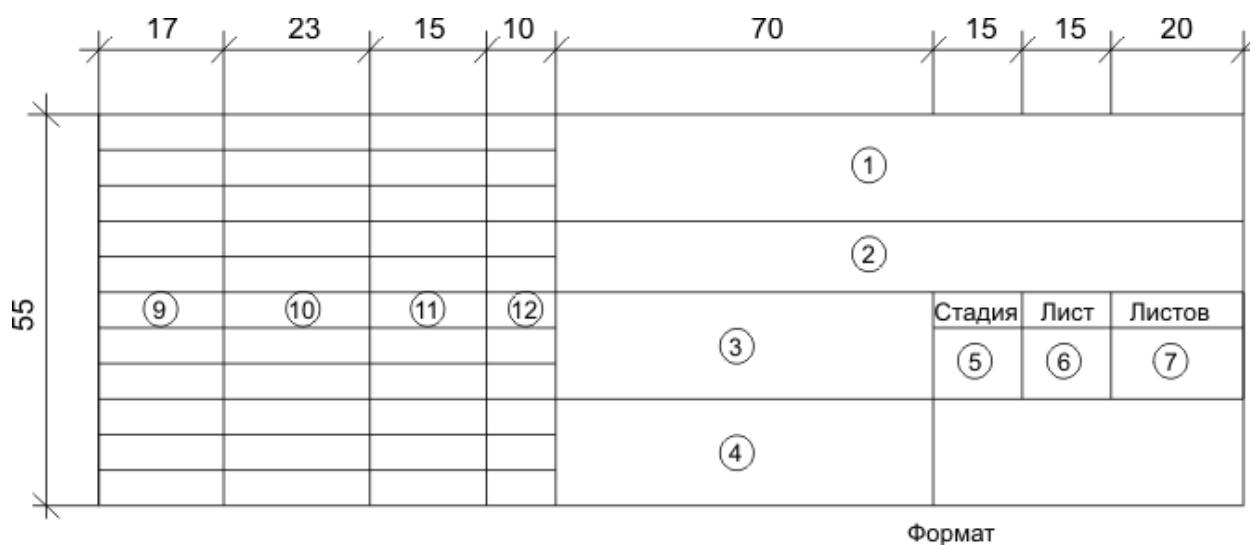


Рисунок 1 Основная надпись на чертежах.

На рисунке 1 цифрами в кружках обозначены номера граф. Вместо них следует указывать:

в графе 1 – «КП «Проект транспортной развязки»;

в графе 2 – «Дисциплина «Изыскания и проектирование автомобильных дорог»;

в графе 5 – «КП» (курсовой проект);

в графе 6 – порядковый номер чертежа;

в графе 7 – количество чертежей в курсовом проекте;

в графе 8 – МО РБ, БНТУ, ФТК, каф. «Проектирование дорог»;

в графе 9 – руководитель, исполнитель;

в графе 10, 11, 12 – фамилия, подписи и дата подписей.

Содержание граф 3 и 4 зависит от содержания чертежа и принимается по таблице:

| № | Наименование чертежа | Наименование графы 3 | Наименование графы 4 |
|----|---|----------------------------|---|
| 1 | Исходные данные | Исходные данные | |
| 2 | Дорожное полотно пересекающихся дорог | Дорожное полотно | Дорожное полотно пересекающихся дорог |
| 3 | Продольные профили пересекающихся дорог | Продольный профиль | Продольный профиль дороги в нижнем уровне |
| 4 | | Продольный профиль | Продольный профиль дороги в верхнем уровне |
| 5 | План трассы транспортной развязки | План транспортной развязки | План трассы транспортной развязки М1:2000 |
| 6 | Продольные профили соединительных ответвлений | Продольный профиль | Продольные профили ЛПО |
| 7 | | Продольный профиль | Продольные профили ППО |
| 8 | Поперечные профили пересекающихся дорог | Поперечные профили | Поперечные профили пересекающихся дорог |
| 9 | Поперечные профили соединительных ответвлений | Поперечные профили | Поперечные профили соединительных ответвлений |
| 10 | План транспортной развязки | План транспортной развязки | План 1/2 транспортной развязки М1:1000 |

Литература

1. Автомобильные дороги. Нормы проектирования: ТКП 45-3.03-19-2006. – Минск, 2006.
2. Автомобильные дороги. Примыкания и пересечения. Правила проектирования: ТКП 509 –2014. – Минск, 2014.
3. Автомобильные дороги. Земляное полотно. Правила проектирования: ТКП 200-2009(02191). – Минск, 2009.
4. Технические средства организации дорожного движения. Правила применения. СТБ 1300 – 2014. – Минск, 2014.