

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Баламирзоев Назим Лиодинович  
Должность: Ректор  
Дата подписания: 19.01.2026 16:44:43  
Уникальный программный код:  
5cf0d6f89e80f49a334f6a4ba58e91f3326b9926



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ**

**ФГБОУ ВО «ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**КАФЕДРА ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ И СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**Аллаев М.О.**

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

**КУРС ЛЕКЦИЙ**

для студентов направления подготовки магистров 08.04.01 –  
Строительство, программа «Проектирование, строительство  
и эксплуатация автомобильных дорог»

**МАХАЧКАЛА –2023**

**УДК 625.72.002.5**

**ББК 39.311**

Аллаев М.О.

**Современные технологии проектирования автомобильных дорог:** Курс лекций для студентов направления подготовки магистров 08.04.01 Строительство, программа «Проектирование, строительство и эксплуатация автомобильных дорог». // Махачкала: ИПЦ ДГТУ, 2022г., 83 с.

Курс лекций подготовлен в соответствии с учебной программой дисциплины «Современные технологии проектирования автомобильных дорог».

В нем изложены вопросы по принципиальным основам автоматизированного проектирования дорог и сооружений, техническим средствам систем автоматизированного проектирования и глобального позиционирования (GPS). Рассмотрены принципы оптимизации и моделирования проектных решений при проектировании автомобильных дорог, вопросы цифрового и математического моделирования местности. Описаны методики автоматизированного проектирования плана и продольного профиля автомобильных дорог, автоматизированного проектирования земляного полотна и оптимальных дорожных одежд, оценки проектных решений с использованием систем автоматизированного проектирования

Для студентов высших учебных заведений, для студентов направления подготовки магистров 08.04.01 – Строительство, программа «Проектирование, строительство и эксплуатация автомобильных дорог». Может быть полезно инженерно-техническим работникам проектных организаций.

**Составитель:** Аллаев М.О., к.т.н., доцент

**Рецензенты:** 1. Батманов Э.З., к.т.н., доцент кафедры О и БД ДГТУ;  
2.

Рег. №

Рекомендован к изданию Ученым советом ДГТУ.

Протокол №\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 2023г.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

стр.

<b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>5</b>
<b>Лекция №1</b>	
<b>Принципиальные основы автоматизированного проектирования дорог и сооружений.....</b>	<b>6</b>
1.1 Понятие о системах автоматизированного проектирования (САПР) .....	6
1.2 Факторы, обеспечивающие эффективность использования САПР АД .....	7
1.3 Принципы построения систем автоматизированного проектирования автомобильных дорог.....	8
1.4 Принципы функционирования систем автоматизированного проектирования автомобильных дорог.....	9
1.5 Средства обеспечения систем автоматизированного проектирования.....	12
<b>Лекция №2.</b>	
<b>Принципы оптимизации и моделирования при проектировании автомобильных дорог.....</b>	<b>18</b>
2.1.Основная задача теории оптимизации, глобальный и локальный экстремумы скалярной функции.....	18
2.2.Методы оптимизации проектных решений при проектировании автомобильных дорог. Понятие о системах и способах моделирования. ....	19
2.3.Математическое моделирование при автоматизированном проектировании автомобильных дорог.....	20
2.4.Задачи линейного программирования.....	22
<b>Лекция №3</b>	
<b>Цифровое моделирование местности Моделирование поверхности и математические модели местности .....</b>	<b>24</b>
3.1. Понятие цифровой модели местности и математической модели местности.....	24
3.2. Виды цифровых моделей рельефа. Регулярные ЦМР, их достоинства и недостатки. Нерегулярные ЦММ .....	25
3.3. ЦМР, построенные по поперечникам к оси магистрального хода. Основные элементы цифровой модели ситуации.....	28
3.4. Методы построения цифровых моделей местности и их точность.....	29
3.5. Моделирование поверхности. Триангуляция Делоне.....	32
3.6. Математическое моделирование местности (МММ).....	33
3.7. Задачи, решаемые с использованием цифровых и математических моделей местности.....	35
<b>Лекция №4</b>	
<b>Обзор сертифицированных САПР АД, зарегистрированных в перечне фонда программных средств Госстроя РФ.....</b>	<b>37</b>
4.1. Краткая характеристика программного комплекса САПР АД Топоматик Robur.....	37
4.2. Краткая характеристика программного комплекса САПР АД IndorCAD/Road.....	44
4.3. Краткая характеристика программного комплекса САПР АД PLATEIA.....	46
4.4 Краткая характеристика программного комплекса САПР АД MX Road.....	47
4.5. Краткая характеристика программного комплекса САПР АД CREDO.....	49
4.6. Краткая характеристика программного комплекса PYTHAGORAS.....	53
4.7. Краткая характеристика программного комплекса САПР АД GIP.....	54
4.8. САПР автомобильных дорог - перспективы и развития.....	56
<b>Лекция №5</b>	
<b>Технология автоматизированного проектирования автомобильных дорог.....</b>	<b>60</b>
5.1.Факторы, влияющие на технологию автоматизированного проектирования автомобильных дорог. ....	60
5.2.Учет влияния изменений компонентов обеспечения САПР АД на ее технологию .....	63
5.3.Общие черты технологии автоматизированного проектирования, присущие всем из-	

вестным САПР-АД.....	64
5.4.Технология автоматизированного проектирования для разных стадий проектирования автомобильных дорог .....	65
5.5.ГИС-технологии в изысканиях автомобильных дорог .....	68
5.6.Методы обоснования полосы варьирования конкурирующих вариантов трассы .....	71
<b>Лекция №6.</b>	
<b>Автоматизированное проектирование плана трассы.....</b>	75
6.1.Принципы проложения трассы дороги.....	75
6.2.Машинная реализация метода тангенсов.....	78
6.3.Интерполярование линии трассы кубическими сплайнами.....	78
6.4.Метод трассирования сглаживающими сплайнами.....	80
6.5.Метод «опорных элементов» .....	81
<b>Лекция №7</b>	
<b>Автоматизированное проектирование продольного профиля автомобильных дорог.....</b>	85
7.1. Принципы проектирования продольного профиля. Оптимизационные и не оптимизационные методы. ....	85
7.2. Анализ плавности проектной линии продольного профиля, построенной с помощью квадратических парабол.....	86
7.3. Проектная линия, построенная из кубических парабол (кубических сплайнов) .....	87
7.4. Проектирование продольного профиля способом сплайн-интерполяции опорных точек..	88
7.5. Метод «проекции градиента».....	89
7.6. Метод «границных итераций».....	91
<b>Лекция 8</b>	
<b>Проектирование верха земляного полотна (взп) в CREDO.....</b>	95
8.1. Теоретические аспекты расчета ВЗП.....	95
8.2. Проектирование поперечного профиля трассы АД в CREDO.....	98
8.3. Модель поперечника трассы АД.....	99
8.4. Дорожные полосы. Целевые линии.....	100
8.5. Проектирование дорожного полотна.....	106
8.6. Параметры обочин.....	110
<b>Лекция №9</b>	
<b>Автоматизированное проектирование оптимальных нежёстких дорожных одежд.....</b>	113
9.1.Эффективность автоматизированного проектирования дорожной одежды.....	113
9.2.Особенности автоматизированного проектирования конструкции дорожной одежды. Уровни использования оптимизационных методов проектирования дорожных одежд....	113
9.3.Оптимизационный метод проектирования дорожных одежд нежесткого типа.....	115
9.4.Технология автоматизированного проектирования оптимальных дорожных одежд.....	117
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	121

## **ВВЕДЕНИЕ**

Современная технология проектирования автомобильных дорог - это процесс автоматизированного проектирования. Он представляет собой совокупность правил, определяющих действия инженера по высококачественному решению проектной проблемы в строго определенные сроки и с минимальными затратами при комплексном использовании всех составляющих системы автоматизированного проектирования автомобильных дорог. Та или иная технология, принимаемая при проектировании автомобильных дорог, определяется большим **количеством факторов**. К ним можно отнести категорию проектируемой дороги, с которой связаны параметры плана и продольного профиля, размеры земляного полотна, конструкция дорожных одежд и искусственных сооружений; требования по обеспечению уровней удобства и безопасности движения; требования по охране окружающей среды; природные условия района проектируемой дороги (дорожно-климатическая зона, тип местности по характеру и степени увлажнения, рельеф местности, специфические особенности сложных природных условий); стадию проектирования (обоснование инвестиций, проектная документация), административно-хозяйственное значение проектируемой дороги и т.д.

В конце прошлого века для решения типовых дорожных задач у проектировщиков были другие программы, а все нестандартные работы они делали вручную. Считалось, что автоматизировать некоторые из них просто нецелесообразно. В то время компьютер рассматривался как средство автоматизации лишь рутинных, вычислительных операций, а вовсе не как инструмент для проектирования. К тому же, компьютерная техника стоила довольно дорого, да и не всем исполнителям ее хватало. Со временем стоимость аппаратного и программного обеспечения начала снижаться, а затраты на оплату труда проектировщиков, наоборот, расти. В этих условиях система автоматизированного проектирования и оказалась востребованной.

Сейчас в нашей стране ощутимо возросла потребность в строительстве инфраструктурных объектов. Необходимость прокладки новых федеральных трасс, магистралей, местных дорог, мостов и тоннелей становится все более очевидной. И ключевым моментом в этом процессе, несомненно, является автоматизированное проектирование. Автоматизация проектных работ рационализирует и ускоряет работы на всех этапах – от геодезических изысканий до детального проектирования и расчетов. Специализированные функции автоматизируют трудоемкие задачи и позволяют спрогнозировать издержки на этапе подготовки проекта. Система автоматизированного проектирования автомобильных дорог отличается от других видов САПР прежде всего спецификой проектирования объекта, которая характеризуется следующими показателями: разрозненными наборами данных для различных участков проектируемой дороги; значительной протяженностью проектируемого объекта; различными топографическими, почвенно-грунтовыми, инженерно-геологическими и другими условиями по длине одного и того же проектируемого объекта, что предопределяет необходимость применения разных методов и различной последовательности выполнения проектных работ; необходимостью многостадийной проработки объекта.

## ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДОРОГ И СООРУЖЕНИЙ

- 1.1 Понятие о системах автоматизированного проектирования
- 1.2 Факторы, обеспечивающие эффективность использования САПР АД
- 1.3 Принципы построения систем автоматизированного проектирования автомобильных дорог
- 1.4 Принципы функционирования систем автоматизированного проектирования автомобильных дорог
- 1.5 Средства обеспечения систем автоматизированного проектирования

### 1.1 Понятие о системах автоматизированного проектирования (САПР)

Накопленный в настоящее время зарубежный и отечественный опыт показывает, что применение компьютерной техники и математических методов при проектировании существенно повышает технический уровень и качество проектируемых объектов при заметном снижении сметной стоимости строительства и существенном сокращении сроков разработки проектов при одновременном повышении качества проектно-сметной документации. Автоматизированное проектирование оказывается особенно эффективным, когда отдельных компьютерных расчетов переходят к разработке и использованию систем автоматизированного проектирования, в которых уже взаимосвязаны все стадии проектно-изыскательских работ, начиная с этапа сбора, обработки и представления исходной для проектирования информации и кончая оформлением проектно-сметной документации.

*Система автоматизированного проектирования (САПР)* — это организационно-техническая система, состоящая из комплекса средств автоматизации проектирования, взаимосвязанного с подразделениями проектной организации, и выполняющая автоматизированное проектирование.

Следует различать проектирование автоматическое и автоматизированное. При *автоматическом* проектировании процесс получения, преобразования, передачи информации, формирования управляющих команд осуществляется автоматически без участия инженера-проектировщика. Однако в этом случае проектировщик принимает участие в главных этапах проектного процесса: на этапе подготовки задания на проектирование и на этапе оценки полученного проектного решения, с последующей возможной его корректировкой. При *автоматизированном* проектировании инженер-проектировщик непосредственно участвует и в процессе выработки проектных решений, направляя проектный процесс по нужному руслу.

Главный эффект от применения САПР возникает в результате автоматизации различных творческих функций человека на ранних стадиях разработки проекта, когдарабатываются самые принципиальные решения (например, выбор общего направления трассы автомобильной дороги, установление положения проектной линии продольного профиля и т.д.). Творческий процесс создания инженером-проектировщиком с помощью технических средств САПР математической модели объекта строительства, оперативный анализ в ходе этого процесса достоинств и недостатков модели определяют качественно новую ситуацию в проектировании: инженер-проектировщик в ходе диалога с компьютером всесторонне анализирует большое число вариантов, осуществляет оптимизацию проектных решений, моделирует поведение проектируемого объекта или отдельных его элементов во времени и пространстве и в конечном итоге выбирает наилучший вариант для последующей детальной проработки и строительства.

САПР — это принципиально новая организационно-техническая система, основу которой

составляют компоненты: методического, программного, информационного, технического и организационного обеспечения. Проектирование на уровне САПР предусматривает фундаментальную перестройку всего проектно-изыскательского процесса: радикальное изменение состава и знаний инженерно-технического персонала, изменение существующей структуры проектно-изыскательских институтов и технологии изысканий и проектирования.

**Функциями САПР** являются разработка и выпуск проектно-сметной документации, обладающей уровнем качества, недостижимым средствами традиционного (неавтоматизированного) проектирования.

Коренное отличие системного проектирования от эпизодического использования компьютера при традиционном проектировании заключается в том, что все подсистемы САПР взаимосвязаны и результаты проектных проработок по одной из подсистем непосредственно используются в виде исходной информации для последующего проектирования с помощью другой подсистемы без промежуточной обработки результатов. Эти результаты, кроме того, выдаются на экран монитора и могут непосредственно корректироваться инженером-проектировщиком. Таким образом, осуществляется диалог инженера с компьютером.

**Целью создания САПР** являются:

- повышение качества объектов проектирования. Например, разработка проектов автомобильных дорог, имеющих зрительно плавную и ясную трассу, органически вписывающуюся в окружающий ландшафт и обогащающая его, обеспечивающую наилучшие транспортно-эксплуатационные показатели (уровни удобства и безопасность движения, скорости движения, время сообщения, пропускную способность и т.д.);
- снижение материалоемкости и стоимости строительства объектов. Материалоемкость проектных решений и строительная стоимость автомобильных дорог при системном автоматизированном проектировании оказываются на 10—15% (а иногда и более) ниже соответствующих показателей при использовании традиционных методов и технологий;
- сокращение сроков проектирования, трудовых затрат и повышение качества проектно-сметной документации. При системном автоматизированном проектировании сроки проектно-изыскательского цикла (с соответствующим ростом производительности труда) сокращаются в среднем на 20—25% и более. Подготовка проектно-сметной документации с использованием соответствующих средств автоматизации обеспечивает оформление проекта (пояснительных записок, смет и чертежей) с качеством, недостижимом при традиционной технологии.

## **1.2 Факторы, обеспечивающие эффективность использования САПР АД**

При автоматизированном проектировании на уровне САПР наибольшего экономического эффекта достигают в связи с повышением качества объекта проектирования и снижением материалоемкости и сметной стоимости строительства. Экономический эффект при проектировании с использованием САПР обеспечивают следующие факторы:

- системное использование средств автоматизированного проектирования. Результаты проектирования по одной из подсистем САПР автоматически используются в качестве исходной информации для последующего этапа автоматизированного проектирования без трудоемкой ручной переподготовки, определяющей к тому же большое количество неизбежных ошибок. Использование САПР автоматизирует трудоемкие и рутинные операции традиционной технологии (подготовка пояснительных записок, чертежей, смет, расчетов и т.д.);
- создание принципиально новой технологии производства проектно-изыскательских работ. Проектирование на уровне САПР предполагает использование качественно отличной технологии выполнения проектно-изыскательских работ, характеризуемой системностью, ком-

плексностью, широтой охвата и исключительной глубиной проработки;

- повышение специализации труда. Опыт системного автоматизированного проектирования убеждает в необходимости разделения функций изысканий и проектирования между специализированными, оснащенными соответствующим современным оборудованием, изыскательскими и проектными организациями, а также в разделении функций проектирования между узкими специалистами по проектированию плана трассы, земляного полотна, дорожных одежд, малых водопропускных сооружений, мостовых переходов, транспортных развязок движения и т.д. Структура проектно-изыскательских институтов, определенная старой технологией производства проектно-изыскательских работ, должна быть существенно реорганизована;

- совершенствование методов управления процессами проектирования;

- внедрение математических методов оптимизации проектных решений. Использование оптимизирующих алгоритмов, реализация которых при ручном проектировании в связи с их многодельностью практически исключена, позволяет заметно снижать материалоемкость и стоимость основных проектных решений (земляного полотна, дорожных одежд, водопропускных сооружений и т.д.);

- внедрение методов математического моделирования. Использование методов математического моделирования, реализация которых при ручном проектировании немыслима, позволяет моделировать поведение проектируемого объекта во времени и пространстве (моделирование работы мостовых переходов, малых водопропускных сооружений, моделирование объектов проектирования, моделирование транспортных потоков и т.д.), что существенно повышает качество принимаемых проектных решений;

- многовариантность проработки основных проектных решений. Элементы автомобильных дорог, для которых в настоящее время не представляется возможным аналитически находить экстремальные значения целевых функций или целевых функционалов, в САПР проектируют многовариантно, что позволяет находить проектные решения, приближающиеся к оптимальным.

### **1.3 Принципы построения систем автоматизированного проектирования автомобильных дорог**

При создании, эксплуатации и развитии САПР руководствуются следующими общесистемными принципами: включения, системного единства, развития, комплексности, информационного единства, совместимости, инвариантности.

**Принцип включения** состоит в том, что требования к созданию, функционированию и развитию САПР определяются со стороны более сложной системы (включающей в себя САПР) министерства, департамента, проектной организации. Например, автоматизированная система управления проектированием (АСУП) является подсистемой по отношению к отраслевой автоматизированной системе управления (ОАСУ), в то время как САПР проектных организаций являются компонентами АСУП.

**Принцип системного единства** состоит в том, что на всех этапах создания, функционирования и развития САПР целостность системы обеспечивается связями между подсистемами САПР. При этом выходные результаты одной подсистемы служат входной информацией для другой подсистемы. Компоненты являются основными элементами структуры САПР. При этом, с одной стороны, компонент САПР является элементом определенной подсистемы, а с другой — элементом средства обеспечения.

**Принцип развития** предполагает, что САПР разрабатывается и функционирует как развивающаяся система, для чего сразу предусматривают возможность наращивания и совершен-

ствования компонентов САПР и связей между ними.

По мере развития методов и технологии изысканий и проектирования автомобильных дорог, а также совершенствования технических средств автоматизации необходимы замена устаревших методов проектирования новыми, расширение системы за счет включения новых расчетных и проектирующих программ и периодическая замена морально устаревающих технических средств более современными без остановки эксплуатации САПР.

**Принцип комплексности** состоит в том, что при проектировании на уровне САПР должна быть обеспечена связь проектирования отдельных элементов и всего объекта в целом на всех стадиях проектирования. Так, например, при проектировании вариантов плана трассы автомобильной дороги для оценки полученного решения необходимо выполнить полный комплекс проектирования всех элементов дороги (искусственные сооружения, продольный профиль, оценка проектного решения по различным показателям, в частности оценка зрительной плавности трассы и т. д.). В случае, если по какому-либо критерию - полученное решение не устраивает проектировщика, план трассы варианта корректируется с последующим проектированием всех элементов дороги.

**Принцип информационного единства** заключается в том, что в подсистемах, средствах обеспечения и компонентах САПР должны использоваться термины, символы, условные обозначения, проблемно-ориентированные языки программирования и способы представления информации, установленные в отраслях соответствующими нормативными документами. Информационное единство в рамках конкретной системы исключает двоичение, ошибки и путаницу.

Универсальные объектно-ориентированные языки программирования позволяют ставить проблему перед ЭВМ в виде, понятном для инженера-проектировщика.

**Принцип совместимости** состоит в том, что языки, символы, коды, информационные и технические характеристики структурных связей между подсистемами, средствами обеспечения и компонентами САПР согласуются таким образом, что обеспечивается совместное функционирование всех подсистем и сохраняется открытая структура системы в целом.

Принцип совместимости обеспечивается использованием универсальных объектно-ориентированных языков программирования, использованием систем управления базами данных широкого назначения, операционных систем (ДОС, ОС), совместимых технических средств (ЭВМ IBM- стандарта, децентрализованное периферийное оборудование и т.д.)

**Принцип инвариантности** заключается в том, что подсистемы и компоненты САПР должны быть по возможности универсальными или типовыми, т. е. инвариантными по отношению к проектируемым объектам и отраслевой специфике.

#### **1.4 Принципы функционирования систем автоматизированного проектирования автомобильных дорог**

Создание САПР требует разработки комплекса математического обеспечения и средств автоматизации, которые, с одной стороны, позволяют полностью автоматизировать процесс конструкторского, расчетного и чертежно-графического решения проектных задач с использованием математического аппарата оптимизации и моделирования, ввода информации, обработки данных и т.д. и, с другой, оставляет за инженером проектировщиком право оперативного вмешательства в процесс проектирования, корректировать его результаты и менять исходные данные, последовательность и состав проектных работ. Общие принципы функционирования САПР состоят в следующем.

1. *Принцип соответствия автоматизированных функций проектирования требованиям набора запросов пользователя.*

Основным режимом функционирования САПР является автоматизированное решение проектных задач, при котором происходит обязательное чередование функций автоматического проектирования с функциями, выполняемыми инженером-проектировщиком по подготовке заданий, по визуальному логическому контролю и принятию окончательных решений. Как показывает уже накопленный опыт системного автоматизированного проектирования, даже незначительное ущемление возможностей инженера-проектировщика оперативно вмешиваться в процесс автоматизированного проектирования сильно снижает эффективность функционирования всей системы - возникают аварийные ситуации в связи с потерей информации, потери времени при длительной обработке сложных пакетов программ с незамеченной в начале счета, ошибкой в исходных данных, получение явно непригодных по каким-либо показателям законченных проектных решений и т.д.

В САПР инженер-проектировщик является основным звеном, на плечи которого ложатся определяющие функции процесса автоматизированного проектирования:

- выбор исходных параметров для проектируемого объекта;
- анализ, контроль и подготовка исходной информации для проектирования;
- принятие решений о составе и последовательности проектных процедур;
- выбор методов решения тех или иных проектных задач, что требует от проектировщика широкого кругозора и достаточно глубоких теоретических знаний по современным методам расчета и проектирования;
- формулирование принципиальных вариантов проектных решений, которые подлежат последующей детальной автоматизированной проработке;
- разбивка вариантов объекта на участки проектирования и участки расчета, каждый из которых целиком может быть подвергнут программной обработке; оперативная работа в интерактивном режиме; оценка результатов проектирования; принятие принципиальных решений (корректировка полученного проектного решения, принятие решения о переходе к последующему этапу программной обработки и т.д.); выполнение согласований по инстанциям.

## *2. Принципы комплексного и пошагового использования.*

Методическое обеспечение САПР дает возможность решения расчетных, проектирующих и чертежно-графических задач, а также задач ввода и обработки данных как комплексно, с использованием функциональных возможностей САПР, так и поэтапно, например, с использованием в автономном режиме какой-либо технологической линии проектирования, либо пакета прикладных программ. Принцип комплексного использования характерен для развитых систем автоматизированного проектирования, а принцип пошагового использования - для систем в состоянии начального внедрения.

## *3. Принцип технологического деления проектируемого объекта на участки проектирования и участки расчета.*

Системы автоматизированного проектирования автомобильных дорог отличаются от других САПР прежде всего спецификой проектируемого объекта, которая характеризуется: разрозненными наборами данных для различных участков проектируемой дороги; значительной протяженностью проектируемого объекта; различными топографическими, почвенно-грунтовыми, инженерно-геологическими, экономическими и другими условиями по длине одного и того же проектируемого объекта, что предопределяет необходимость применения различных методов и различной последовательности выполнения проектных работ; необходимостью многостадийной проработки объекта (технико-экономическое обоснование — ТЭО или обоснование инвестиций — ОИ, инженерный проект — ИП, рабочий проект — РП или техно-рабочий проект — ТРП); нередкой необходимостью проектирования различных участков дороги в разное время и

по разным нормативам.

Все эти особенности вынуждают делить автомобильные дороги большой протяженности на участки проектирования, а эти участки, в свою очередь, иногда и на участки расчета, обрабатываемые пакетами прикладных программ или отдельной проблемной программой как одно целое.

#### *4. Принцип многовариантного проектирования.*

Помимо широкого использования математических методов оптимизации проектных решений, заложенных в алгоритмы многих программ, САПР предусматривает также и широкую возможность использования эвристического подхода к тем задачам проектирования, для которых в настоящее время еще не получено математическое выражение функции цели или целевого функционала и отсутствует математический аппарат нахождения их экстремальных значений.

Проработка большого количества вариантов проектных решений дает определенное приближение к оптимальному.

*5. Принцип взаимосвязанности основных проектных задач*, входящих в САПР, заключается в том, что функциональная последовательность взаимосвязанных между собой проектных работ определяется в соответствии с общей технологией и стадийностью проектирования автомобильных дорог. Действительно, проектированию варианта плана автомобильной дороги предшествует получение топографической информации о местности и ЦММ; продольный профиль может быть запроектирован после получения черного профиля земли по варианту трассы, инженерно-геологического разреза и расчета водопропускных сооружений (труб, малых мостов, мостовых переходов и Т.Д.).

*6. Принцип преемственности информационных массивов* состоит в том, что передача информационных массивов возможна как непосредственно между пакетами программ и отдельными проблемными программами, так из баз данных с внешних носителей информации с использованием операционных систем.

*7. Принцип разветвляющейся функциональной взаимосвязи проектных задач* состоит в том, что на определенных этапах автоматизированного решения проектной проблемы перед инженером-проектировщиком может возникнуть в зависимости от полученного результата необходимость альтернативного принятия решения в части дальнейшего хода проектирования. Например, выполнив автоматизированное проектирование продольного профиля на заданном участке дороги, инженер-проектировщик может сделать оценку полученного решения по какому-либо критерию (скажем, по строительной стоимости) либо по нескольким показателям (например, по приведенным затратам, по обеспечению зрительной плавности и ясности трассы, по уровню удобства и безопасности движения и т.д.), может, оценивая полученное решение визуально, сразу же убедиться в его недостаточно высоком качестве и, внеся коррективы, вернуться к началу проектного процесса по установлению положения проектной линии продольного профиля, может записать полученную информацию в базу данных на один из внешних носителей, а может использовать ее сразу же непосредственно для решения последующей проектной задачи и т.д.

Любая система автоматизированного проектирования обычно в своей функциональной структуре содержит значительное число подобных узлов разветвления процесса проектирования.

К настоящему времени в разных странах мира разработано и функционирует большое число систем автоматизированного проектирования автомобильных дорог и сооружений на них (САПР-АД). В России получили наибольшее распространение несколько САПР-АД:

«IndorCAD/Road» (Томск), «ТИП» (Москва); в Белоруссии САПР «CREDO» (Минск).

Большинство функционирующих в настоящее время САПР-АД имеют сходную структуру (рис. 9.2) и идентичное распределение функций между инженером-проектировщиком и компьютером.

Они состоят из комплекса подсистем (технологических линий проектирования и пакетов прикладных программ), каждая из которых автоматизирует процесс выполнения следующих проектных операций:

- переработку исходной топографической, инженерно-геологической, экономической и другой изыскательской информации и представление ее в виде цифровой модели рельефа и инженерно-геологического строения местности;

- проектирование плана автомобильных дорог;
- проектирование продольного профиля автомобильных дорог;
- проектирование земляного полотна и дорожных одежд;
- проектирование искусственных сооружений;
- оценку проектных решений;
- подготовку (оформление) проектно-сметной документации.

## 1.5 Средства обеспечения систем автоматизированного проектирования

С начала 80-х годов 20 века, в связи с массовым производством и внедрением персональных компьютеров (ПК), идея системной автоматизации процесса проектирования становится практически осуществимой для проектных организаций любого масштаба: от крупного института до частного бюро. Понятие САПР, с одной стороны, упростилось и зачастую ассоциируется с той или иной компьютерной программой. С другой стороны, проектирование сложных технических объектов возможно лишь в рамках САПР как организационно-технической системы, основу которых составляют компоненты методического, программного, информационного, технического и организационного обеспечения (рис. 1.1).

Компоненты САПР — это элементы средств обеспечения, выполняющие определенные функции.



Рис. 1.1. Виды обеспечения систем автоматизированного проектирования

### Техническое обеспечение САПР

Техническое обеспечение - это комплекс технических средств, с помощью которого осуществляют сбор, обработку, хранение, преобразование и передачу данных, связанных с объектом проектирования. Основу технического обеспечения составляют средства вычислительной техники и, в первую очередь, это - персональный компьютер. Стандартная конфигурация компьютера общезвестна:

- системный блок, состоящий из процессора, оперативной памяти, блока питания, винчестера, других накопителей данных, портов подключения периферийных устройств;
- клавиатура для ввода информации;
- монитор для отображения информации;

- мышь для удобства диалога "человек-компьютер".

Понятие периферийных устройств включает широкий перечень технических устройств:

- устройства сбора, регистрации и обработки данных, не связанные с центральным процессором или периодически подключаемые к нему: аэро- и наземное стереосъемочное, стереофотограмметрическое оборудование; геодезическое оборудование для сбора топографической и других видов информации о местности (электронные теодолиты, электронные и компьютерные тахеометры, регистрирующие нивелиры, лазерные дальномеры, наземные устройства систем спутниковой навигации «GPS», геодезические лазерные сканеры и т.д.); инженерно-геологическое и геофизическое оборудование для инженерно-геологической разведки и т.д.;

- устройства ввода и вывода информации, объединенные или связанные каналами связи с центральным процессором; дисплеи; плоттеры; принтеры; клавиатуры; манипуляторы и т.д.;

- обслуживающие устройства: хранилища, бумагорезательные, копировальные машины, переплетные мастерские и т.д.

*Средства связи* — это устройства, обеспечивающие связь между компьютерами, а также между компьютерами и периферийными устройствами, телефонная, телексная, радио- и другие виды связи между пользователями и компьютерами, электронная почта и т.д.

Для организации коллективной работы над проектом и оперативного обмена информацией компьютеры объединяют в локальные (интранет) и глобальные (интернет) сети, техническими компонентами которых являются серверы, сетевые платы, модемы, оптоволоконные сети и пр.

Создание комплекса технических средств САПР связано с необходимостью выполнения ряда противоречивых требований, которые включают:

- быстрое освоение имеющегося парка вычислительной техники. Моральное старение вычислительной техники требует полной ее замены на принципиально новые более совершенные модели в среднем каждые 5-7 лет, что требует соответствующей организационной перестройки без остановки функционирования САПР;

- увязку прикладного программного обеспечения с общесистемным;

- обеспечение постоянного быстрого доступа инженера-проектировщика к компьютерам и другим средствам автоматизации;

- повышение эффективности и качества проектирования, без чего реализация проектирования на уровне САПР становится бессмысленной.

Структура ТО САПР представляет собой сеть узлов, связанных между собой средой передачи (станциями данных) основой которых являются рабочие места проектировщиков, часто называемые (АРМ) Типичный состав устройств АРМ: ЭВМ с одним или несколькими микропроцессорами, оперативной и кэш-памятью и шинами, служащими для взаимной связи устройств; устройства ввода-вывода, включающие в себя, как минимум, клавиатуру, мышь, дисплей; дополнительно в состав АРМ могут входить принтер, сканер, плоттер (графопостроитель), дигитайзер и некоторые другие периферийные устройства.

### ***Программное обеспечение САПР***

**Компонентами программного обеспечения САПР** являются документы с текстами программ, сами программы на машинных носителях информации и эксплуатационные документы, обеспечивающие функционирование системы.

*Программа* — это последовательность команд, написанных в кодах компьютера и дающих ему точное задание для всех этапов цикла обработки данных. *Подпрограмма* — это завершенная часть программы, которая не может, однако, функционировать как самостоятельная, а

только лишь, будучи включенной в основную программу или другую подпрограмму

Программное обеспечение САПР подразделяют на общесистемное и прикладное.

К общесистемному программному обеспечению относят, в первую очередь, операционные системы (ОС), которые управляют всеми процессами, происходящими в компьютерах.

Компонентами *прикладного программного обеспечения* являются пакеты прикладных программ и системы прикладных программ, предназначенные для получения конкретных проектных решений. *Пакет прикладных программ (ППП)* — это несколько связанных между собой вычислительных программ для решения определенной проектной задачи, когда ввод и вывод данных каждой отдельной программы должны быть согласованы с остальными программами пакета. *Системы прикладных программ (СПП)*, составляющие основу технологических линий проектирования САПР, формируются таким образом, что связь между отдельными программами осуществляется через данные промежуточных результатов, когда результаты расчета по одной программе автоматически используются в качестве исходной информации для расчета по другой.

### ***Математическое и методическое обеспечение***

Математическое обеспечение - это совокупность аналитических и численных методов, математических моделей и алгоритмов выполнения проектных процедур. Применение тех или иных методов зависит от уровня развития САПР, свойств объектов проектирования и характера решаемых задач.

Математическое обеспечение САПР реализуется в виде программ и сопровождающей документации. На основе математического обеспечения решаются все задачи в САПР: постановка проблемы, организация вычислительного процесса и диалога человек - ЭВМ, анализ, синтез, техническое проектирование и т.д. Математическое обеспечение САПР делят на две основные составляющие: **обслуживающую (общую) и проектирующую (специальную)**.

Обслуживающая составляющая математического обеспечения САПР содержит средства:

- описания графических образов, накопления библиотек типовых изображений, редактирования, преобразования, называемые математическими средствами машинной графики;
- обработки информационных массивов - методы сортировки, поиска элементов, преобразования структур и поиска данных;
- обеспечения вычислительного процесса САПР;
- сбора статистики параметров получаемых решений.

Количество частей обслуживающей составляющей математического обеспечения САПР увеличивается вместе с прогрессом теории и практики САПР.

Проектирующая или специальная составляющая математического обеспечения САПР содержит средства решения прикладных задач, на которые ориентирована САПР. Решение прикладных задач основывается на математическом моделировании объектов проектирования.

Методы решения конкретных задач проектирования автомобильных дорог выражают однозначно в виде, удобном для реализации на компьютерах, т.е. представляют в виде алгоритмов.

*Алгоритм* — это последовательность вычислительных и логических операций, по которым можно определять значения искомых величин при заданных значениях исходных. Алгоритмы обладают следующими свойствами: определенностью, т.е. конкретностью описания последовательности процедур; общепонятностью, при которой вычисления может произвести любой человек, знающий элементарную алгебру; массовостью, т.е. возможностью использовать любые исходные данные, принадлежащие определенному множеству, с получением искомых

результатов.

Алгоритмы решения конкретных задач проектирования автомобильных дорог, содержащиеся обычно в программной документации, составляют вторую часть методического обеспечения САПР.

#### ***Компонентами методического обеспечения являются***

- документы, в которых полностью или со ссылками на первоисточники изложены методы, теория;
- нормативы и другие данные, обеспечивающие методологию проектирования в САПР.

1) Теория и методы проектирования автомобильных дорог и сооружений на них в последние десятилетия получили большое развитие именно в связи с переходом на системное автоматизированное проектирование, которое позволяет на качественно более высоком уровне реализовать основные вопросы проектирования автомобильных дорог (проектирование плана трассы, продольного профиля, земляного полотна, дорожных одежд, малых водопропускных сооружений, мостовых переходов, развязок движения), а также оценки проектных решений. Монографии, справочники, учебники, учебные пособия, труды институтов, журнальные статьи и другие издания, где изложены теория и методы автоматизированного проектирования автомобильных дорог, составляют фундамент методического обеспечения САПР.

2) Нормативно-методическая документация составляет третью часть методического обеспечения САПР. Проектирование автомобильных дорог и сооружений на них всегда осуществляется в соответствии с действующими нормативными документами, к которым относятся: государственные общероссийские стандарты (ГОСТ), стандарты отрасли (ОСТ), отраслевые дорожные нормы (ОДН), ведомственные строительные нормы (ВСН), общероссийские строительные нормы, инструкции, указания и правила (СН), строительные нормы и правила (СНиП), пособия к СНиПам, своды правил по изысканиям и проектированию (СП), руководящие документы системы (РДС, РСН) и разного рода методические указания и рекомендации.

#### ***Информационное и организационное обеспечение***

**Информационное обеспечение** - это совокупность средств и методов построения информационной базы для целей проектирования. Компонентами *информационного обеспечения* САПР являются документы, содержащие описание стандартных проектных процедур, типовых проектных решений, типовых элементов, комплектующих изделий, материалов и другие данные, а также массивы и базы данных на машинных носителях информации с записью указанных документов, обеспечивающие функционирование САПР.

К информационному обеспечению САПР-АД относят прежде всего типовые проектные решения по земляному полотну, дорожной одежде, конструкциям пролетных строений, опор мостов и путепроводов, водопропускным трубам, подпорным стенкам, укреплениям, обстановке и принадлежностям дороги, зданиям и сооружениям службы эксплуатации и т.д. Вся информация о типовых проектных решениях хранится в долговременной памяти компьютеров, к которым обеспечен оперативный доступ в ходе системного автоматизированного проектирования.

Типовые проекты постоянно совершенствуются, обновляются, разрабатываются новые. Все это требует систематического обновления и расширения информационной базы САПР.

В состав информационного обеспечения входят: государственные стандарты (ГОСТ), строительные нормы (СН), строительные нормы и правила (СНиП), ведомственные строительные нормы (ВСН).

По другой классификации информацию можно подразделить на входную, промежуточную и выходную. Входная - совокупность исходных данных, необходимых для принятия проектного решения. Промежуточная - полученная ранее в результате решения одних задач и ис-

пользуемая для решения других, но не окончательные результаты решения задач. Выходная - полученная как результат решения задач и предназначенная для непосредственного использования в проектировании.

Основу информационного обеспечения САПР составляет банк данных (БНД), состоящий из базы данных (БД) и системы управления базой данных (СУБД). База данных САПР представляет собой совокупность данных, удовлетворяющих следующим требованиям: 1) коллективное многоразовое использование, т.е. в БД могут входить только те данные, которые могут потребоваться многим пользователям (многим прикладным программам) при выполнении многих маршрутов проектирования; 2) данные представлены в одной из форм, допустимых в рассматриваемом банке данных. Система управления базой данных – это совокупность программных средств, предназначенных для реализации доступа к БД, т.е. для извлечения данных, их накопления и корректировку.

Банки данных принято делить на общеселевые и специализированные. Общеселевые банки ориентированы на применение в крупных информационных системах и в АСУ различного типа. Создание общеселевого банка сводится к созданию общеселевой СУБД, в то время как конкретное содержимое БД определяется пользователем.

Общеселевые СУБД обладают широкими возможностями управления данными. Специализированные БНД разрабатываются для конкретных применений, они менее универсальны, однако характеризуются сравнительно малыми временами доступа к данным, в них упрощаются процедуры обновления данных и снижаются требования к емкости оперативной памяти, требуемой для размещения программ СУБД.

**Организационное обеспечение** представляет собой совокупность организационных и технических мероприятий, направленных на повышение эффективности функционирования САПР. К ним относятся: изменение организационной структуры проектной организации, ее отделов и подразделений; перераспределение функций между отделами; изменение технологии проектно-изыскательских работ и кадров состава сотрудников, повышение квалификации проектировщиков в сфере САПР, организация и функционирование систем управления качеством проектной продукции на основе международных стандартов ISO 9001:2000.

Общие вопросы организации при создании, эксплуатации и развитии САПР регламентируются общеотраслевыми руководящими материалами (ОРММ) по созданию систем автоматизированного проектирования. Частные вопросы организации системного проектирования решаются в рамках конкретной проектной организации либо фирмы, являющейся разработчиком либо эксплуатирующей САПР.

### ***Лингвистическое обеспечение САПР***

Значение и роль лингвистического обеспечения в САПР определяется тем, что эти системы основаны на взаимодействии человека (пользователя) и ЭВМ (исполнителя) и являются по своей сути человеко-машическим комплексом. Общение между пользователем и ЭВМ осуществляется с помощью специальных языков различного уровня, обеспечивающих выдачу заданий и директив по их выполнению, перемещений массивов информации, передачу распоряжений о расположении информации в определенном разделе памяти ЭВМ, а также о режиме работы вычислительной системы и последовательности обработки выдаваемых заданий.

**Лингвистическое обеспечение (ЛО)** включает в себя языковые средства разработки и эксплуатации ПО, совокупность языковых средств и специалистов ими владеющих. Различают языки написания программ (языки разработчиков) и языки той предметной области, которой посвящен САПР (языки пользователей). Как правило, именно с помощью языков пред-

метной области САПР осуществляется процесс проектирования, поэтому эти языки называют **языками проектирования**.

Существующие операционные системы не предназначены для непосредственного общения неквалифицированного пользователя, которым является проектант технического объекта, с ЭВМ на языке, близком к естественному языку, которым пользуется инженер, и требует промежуточного звена в виде программистов и операторов, формулирующих задания на языке операционной системы. Таким образом, возникает необходимость специализированных **проблемно-ориентированных языков**, играющих роль прикладной операционной системы и представляющих неквалифицированному пользователю широкие возможности непосредственного управления заданиями и работы с массивами информации при использовании терминологии, употребляемой в инженерной практике.

Универсальные алгоритмические языки типа Турбо Паскаль, Си+, Си++, Фортран достаточно эффективно используются для реализации САПР, так как обладают развитыми возможностями для описания разнообразных алгоритмов, характерными для программного обеспечения САПР. Однако при их использовании в качестве языков проектирования программа, как правило, громоздкая и неудобная. Это объясняется, во-первых, необходимостью специальной подготовки в области программирования и, во-вторых, сложностью самих процессов трансляции, генерации и отладки программ для управления последовательностью проектных процедур и операций в соответствии с заданием на проектирование, которое составляется на этих языках.

Альтернативой этому подходу является создание специализированных **проблемно-ориентированных языков** проектирования и трансляторов к ним. Языки проектирования принято классифицировать по следующим основным признакам:

- месте в процессе автоматизированного проектирования;
- связи с универсальными языками программирования;
- оперативности;
- преимущественному способу представления информации.

## ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Определение- система автоматизированного проектирования (САПР). Цель создания САПР
2. Факторы, обеспечивающие эффективность использования САПР АД
3. Принципы построения систем автоматизированного проектирования автомобильных дорог
4. Принципы функционирования систем автоматизированного проектирования автомобильных дорог
5. Средства обеспечения систем автоматизированного проектирования
6. Техническое обеспечение САПР. Перечень технических устройств, составляющие периферийные устройства.
7. Программное обеспечение САПР. Общесистемное и прикладное программные обеспечения САПР.
8. Математическое и методическое обеспечение. Обслуживающая составляющая математического обеспечения САПР.
9. Компоненты методического обеспечения САПР.
10. Информационное и организационное обеспечение. Типовые проектные решения.
11. Лингвистическое обеспечение. Классификация проблемно-ориентированных языков проектирования

## ПРИНЦИПЫ ОПТИМИЗАЦИИ И МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

- 2.1. Основная задача теории оптимизации, глобальный и локальный экстремумы скалярной функции
- 2.2. Методы оптимизации проектных решений при проектировании автомобильных дорог.
- 2.3. Понятие о системах и способах моделирования.
- 2.4. Математическое моделирование при автоматизированном проектировании автомобильных дорог.
- 2.5. Задачи линейного программирования

### **2.1. Основная задача теории оптимизации, глобальный и локальный экстремумы скалярной функции**

Развитие вычислительной техники и технических средств автоматизации предопределило не только фундаментальное переосмысление и видоизменение технологии проектно-изыскательских работ, но и методов проектирования. В частности, широкое распространение в практике проектирования автомобильных дорог получили методы оптимизации [1,2,3,4,5,6] и моделирования [6,7], применение которых определяет заметное снижение материоемкости и стоимости строительства и резкое повышение качества проектируемых объектов.

Реализация методов оптимизации и математического моделирования в связи с их исключительной многодельностью немыслима при ручной традиционной технологии и именно в связи с этим эти методы до недавнего времени не находили применения при проектировании автомобильных дорог.

Бурное развитие прикладной математики, связанное с научно-технической революцией, и широкое внедрение компьютерной техники в практику проектирования определили процесс изменения методов решения основных задач проектирования автомобильных дорог: плана трассы, продольного профиля, земляного полотна, дорожных одежд, малых водопропускных сооружений, мостовых переходов, системы поверхностного и подземного дорожного водоотвода, транспортных развязок движения, оценки проектных решений.

Основная задача теории оптимизации сводится к отысканию экстремума (минимума или максимума) скалярной функции  $f(x)$   $n$ -мерного векторного аргумента  $x$  при заданном комплексе ограничений. Эту задачу представляют следующим образом:

$$\min_{x \in X} f(x), \quad (2.1)$$

где  $X$ - некоторое множество  $n$ -мерного Евклидова пространства.

Функцию  $f(x)$  принято называть целевой функцией или функцией цели.

Точка  $\hat{x}$  определяет глобальный минимум функции цели  $f(x)$  на множестве  $X$ , если  $f(\hat{x}) < f(x)$  для всех значений  $x \in X$ (рис. 5.1).

Точка  $\hat{x}$  определяет локальный минимум функции цели  $f(x)$  на множестве  $X$ , если при некотором достаточно малом  $\varepsilon > 0$  для всех  $x \neq \hat{x}$ ,  $x \in X$ , удовлетворяющих условию  $|x - \hat{x}| \leq \varepsilon$  выполняется неравенство  $f(\hat{x}) \leq f(x)$ (рис. 2.2).

Как следует из рис. 2.2, точка  $x_2$  определяет глобальный минимум, в то время как точка  $x_3$ - локальный.

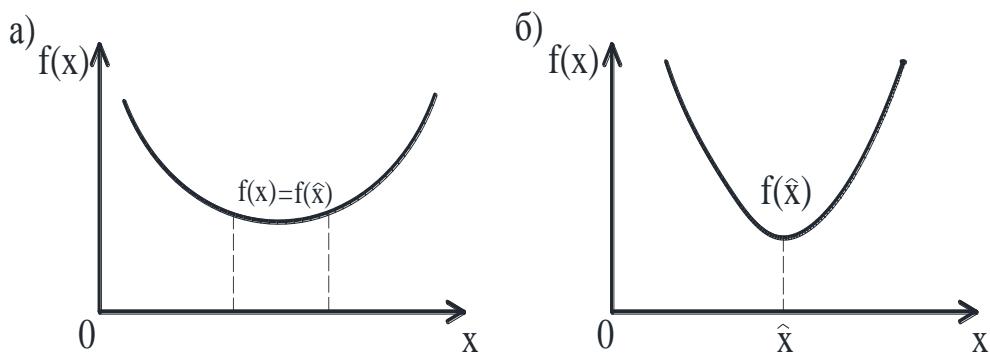


Рис. 2.1. Глобальный оптимум функции  $f(x)$ : а - в пределах интервала; б - в точке

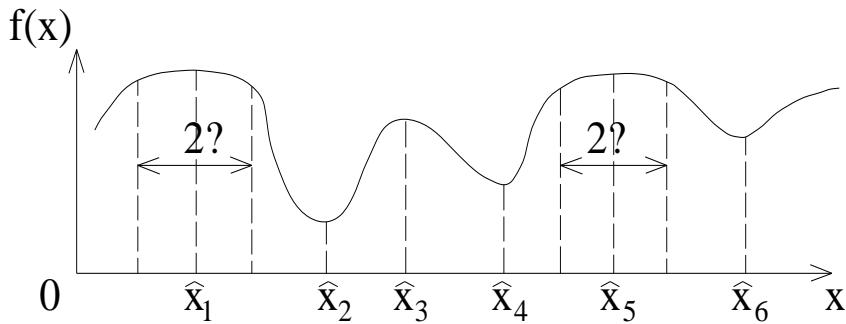


Рис. 2.2. Локальный оптимум функции  $f(x)$

## 2.2. Методы оптимизации проектных решений при проектировании автомобильных дорог. Понятие о системах и способах моделирования

Применительно к решению задач проектирования автомобильных дорог функция цели (объемы работ, строительная стоимость, дисконтные затраты и т.д.) является функцией многих переменных, т.е. целевым функционалом и поиск его экстремумов методами классического анализа в подавляющем большинстве случаев невозможен. В связи с этим в практике проектирования автомобильных дорог стали применять многочисленные специальные математические методы оптимизации, в частности:

- методы оптимизации, основанные на решении задач линейного программирования и позволяющие определять экстремумы линейных функций при заданном комплексе ограничений;
- методы оптимизации, основанные на решении задач нелинейного программирования и позволяющие определять экстремумы нелинейных при заданном комплексе ограничений;
- эвристические методы, дающие возможность за приемлемое машинное время находить проектные решения, приближающиеся к оптимальным.

В настоящее время при автоматизированном проектировании автомобильных дорог с использованием оптимизационных алгоритмов решают главным образом следующие задачи:

- проектирование сетей автомобильных дорог;
- проектирование плана автомобильных дорог;
- проектирование продольного профиля;
- проектирование земляного полотна;
- проектирование пойменных насыпей на подходах к мостам;
- проектирование дорожных одежд; проектирование водопропускных труб;
- проектирование системы поверхностного дорожного водоотвода;
- проектирование мостов и путепроводов на автомобильных дорогах;
- составление проекта организации строительства земляного полотна и дорожных одежд.

Ждут своего решения либо дальнейшего совершенствования в свете перехода на использование строгих математических методов оптимизации и другие задачи проектирования автомобильных дорог - такие, как пространственное трассирование автомобильных дорог, обоснование полосы варьирования трассы, проектирование специальных инженерных сооружений на автомобильных дорогах и т.д. Широкое использование при проектировании математических методов оптимизации проектных решений, дальнейшее совершенствование их и разработка новых оптимизационных

Широкое использование при проектировании математических методов оптимизации проектных решений, дальнейшее совершенствование их и разработка новых оптимизационных алгоритмов и программ составляют громадный резерв снижения материоемкости и строительной стоимости автомобильных дорог и повышения эффективности инвестиций.

**Моделирование** предполагает построение и изучение действующих моделей (натурных, лабораторных и математических), обладающих свойствами элементов и характером их взаимодействия, подобным реальным объектам (системам). С точки зрения теории познания, под моделью понимают некоторую систему объектов, находящихся в определенных отношениях к оригиналу, изучение которой позволяет с минимальными затратами средств и времени получать новую информацию о реальной системе.

Многодельные виды моделирования такие, как натурное и лабораторное, не получили широкого распространения при проектировании автомобильных дорог, прежде всего, в связи с краткостью цикла самого проектирования.

С появлением компьютерной техники и внедрением ее в область исследований и проектирования широкое распространение получил новый, чрезвычайно эффективный метод познания - **математическое моделирование**.

В основе метода математического моделирования лежит идея использования хорошо известных математических уравнений для исследования явлений слабо изученных. Физическая природа процессов, развивающихся в натуре и на модели, при этом различна, однако сами процессы развиваются по одним и тем же законам.

Метод математического моделирования во многом является универсальным. Никогда еще наука не получала в свои руки столь могучего аппарата познания. Достоинствами математического моделирования являются: быстрота подготовки математической модели для выполнения тех или иных исследований; быстрота проведения цикла экспериментальных работ; возможность автоматизированной обработки результатов измерений с получением их в виде, удобном для экспериментатора; дешевизна эксперимента при минимальных материальных и трудовых затратах; получение результатов измерений в реальных масштабах пространства и времени изучаемой реальной системы.

### **2.3. Математическое моделирование при автоматизированном проектировании автомобильных дорог**

Все особенности метода математического моделирования обеспечили широкое его внедрение не только в область научных исследований, но и в область проектирования автомобильных дорог. В математических моделях, используемых при автоматизированном проектировании автомобильных дорог, нашли применение:

аналитическая геометрия на плоскости и в пространстве. Методы аналитической геометрии широко применяют при геометрическом моделировании автомобильных дорог, транспортных развязок, водопропускных сооружений, рельефа, гидрогеологического и геологического строения местности и т.д.;

элементы теории погрешностей;  
методы интерполяции функций, используемые во многих математических моделях для аппроксимации аналоговой информации (например, для аналитического представления эскизных вариантов трассы автомобильных дорог, для аппроксимации гидрометрических кривых при моделировании мостовых переходов и решении других проектных задач);  
методы линейной алгебры и линейного программирования; численные методы решения алгебраических и трансцендентных уравнений; численные методы интегрирования дифференциальных уравнений.

В настоящее время при автоматизированном проектировании автомобильных дорог и сооружений на них с использованием методов математического моделирования решают главным образом следующие задачи:

моделирование рельефа, гидрогеологического и геологического строения местности;  
геометрическое моделирование элементов автомобильных дорог и развязок движения в разных уровнях;  
проектирование земляного полотна;  
расчет стока ливневых вод с малых водосборов; расчет стока талых вод с малых водосборов;  
расчет отверстий малых водопропускных сооружений с учетом аккумуляции;  
проектирование мостовых переходов;  
оценка проектных решений (оценка зрительной пространственной плавности и ясности трассы, моделирование транспортных потоков, моделирование поездки одиночного расчетного автомобиля, построение киноперспектив, оценка степени загрязнения окружающей среды продуктами сгорания топлива, воздействия вибрации, шума от движущегося транспорта т.д.).

Широкое использование при проектировании автомобильных дорог методов математического моделирования, дальнейшее совершенствование их и разработка новых алгоритмов и программ с использованием принципов математического моделирования обеспечат дальнейшее значительное повышение транспортно-эксплуатационных качеств автомобильных дорог.

Всякая оптимизационная задача предполагает заданной целевой функцию - количественный показатель качества альтернатив выбора. Обычно в задачах оптимизации отыскивается экстремум интегрального показателя, который представляется одной функцией  $f(X)$  нескольких переменных, заданной в некоторой области допустимых значений переменных.

Обоснованное применение количественных методов для принятия решений - оптимизацию поведения структур систем называют исследованием операций (ИСО). Здесь операция - комплекс целенаправленных действий.

Задачи, рассмотренные выше, решаются с применением математической модели системы, объединяющей упомянутые ограничения на ресурсы и целевую функцию. Нахождение величин упомянутых параметров системы (они входят в математическую модель как неизвестные) путём решения математической задачи называют **математическим программированием**. Математическое программирование - важнейшая область математики, ориентированная на широкое применение компьютеров.

В зависимости от характера целевой функции, а также ограничений могут использоваться различные методы оптимизации (математического программирования): линейное программирование, нелинейное программирование (хотя бы одна из функций нелинейна по  $X$ ), целочисленное линейное программирование, динамическое программирование и др.

## 2.4. Задачи линейного программирования

*Модель задачи ЛП.*

Одним из разделов математического программирования является линейное программирование. В моделях линейного программирования так называемая «основная задача» состоит в нахождении неотрицательного решения системы линейных уравнений или неравенств (ограничений), которое минимизирует или максимизирует линейную форму (целевую функцию). Математическая задача линейного программирования записывается в сокращённом виде следующим образом:

найти

$$\{x_j \geq 0\}, j = \overline{1, n}$$

при ограничениях

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i, (i = \overline{1, m_1}),$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = b_i, (i = \overline{m_1 + 1, m_2}),$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \geq b_i, (i = \overline{m_2 + 1, m}),$$

которые минимизируют (или максимизируют) целевую функцию:

$$z = \sum_{j=1}^n c_j x_j.$$

*Геометрическая интерпретация задачи ЛП*

Задача линейного программирования геометрически может быть проиллюстрирована следующим образом.

Пусть необходимо найти минимум целевой функции:

$$z = 2x_1 + 3x_2$$

При ограничениях

$$x_1 + x_2 \leq 4,$$

$$x_1 + 5x_2 \geq 4,$$

$$6x_1 + 2x_2 \geq 8,$$

$$x_1 \leq 3,$$

$$x_2 \leq 2$$

Переменные  $x_1$  и  $x_2$  должны быть неотрицательными.

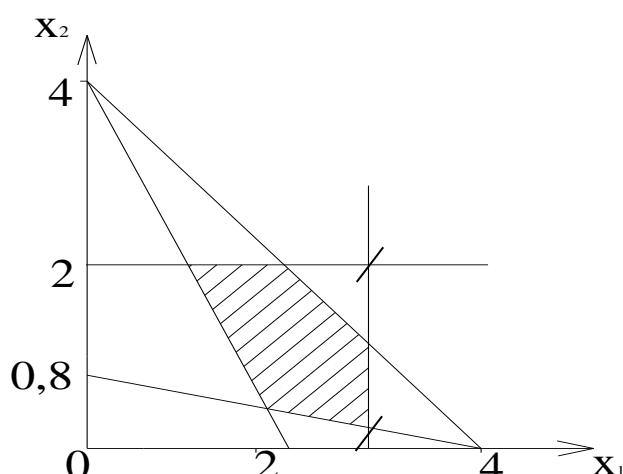


Рис. 5.3. Геометрическая интерпретация задачи ЛП

Поэтому множество точек, являющихся возможными (допустимыми) решениями, может находиться в первом квадранте (см. рис. 5.3.). Неравенства-ограничения изображены в виде полуплоскостей, границами которых являются прямые (графики функций), полученные из неравенств путём отбрасывания знаков  $>$ ,  $<$ . Полуплоскости образуют выпуклый многоугольник (многоугольник решений - симплекс).

Линейная форма (линия уровня) для некоторого набора фиксированных значений переменной  $z$  представляет собой семейство параллельных прямых. Одна из них, которая пройдёт через вершину многоугольника «М», ближайшую к началу координат и даст минимум  $z$  (для координат вершины).

Определив координаты точки М ( $8/7; 4/7$ ) получим:  $z = 2 \cdot 8/7 + 3 \cdot 4/7 = 4$ .

#### *Основная идея методов решения задач ЛП*

Графический способ решения (перемещение графика целевой функции по симплексу) приемлем только для двухмерных задач (задач на плоскости). Но геометрическое толкование задачи линейного программирования справедливо и для общего случая ( $m$  ограничений и  $n$  переменных). Каждое из соответствующих неравенству уравнений системы определяет некоторую гиперплоскость в  $n$ -мерном пространстве. Множество неотрицательных решений образует выпуклый многогранник в  $n$ -мерном пространстве. Линейная форма  $z$ -гиперплоскость, перемещая которую параллельно самой себе, будем получать множество точек пересечения её с выпуклым многогранником. Максимальное или минимальное значение линейной формы  $z$  достигается в точках, являющихся вершинами выпуклого многогранника.

В силу трудности решения задачи графическим способом в случае  $m$  ограничений и  $n > 2$  переменных применяют другие методы решения задачи ЛП. Наиболее распространённым и удобным является **симплекс метод** решения задачи ЛП.

### **ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ**

1. В чём заключается основная задача теории оптимизации?
2. Пояснить и показать на схеме глобальный и локальный экстремумы скалярной функции.
3. Перечислите методы оптимизации проектных решений, применяемых при проектировании автомобильных дорог.
4. Что такое моделирование в целом и математическое моделирование в частности?
5. Какие разделы математики используются в математическом моделировании задач проектирования автомобильных дорог?
6. Какие задачи решаются в настоящее время при автоматизированном проектировании автомобильных дорог и сооружений на них с использованием методов математического моделирования?
7. Что такое математическое программирование?
8. В чём заключается сущность задачи линейного программирования?
9. Привести пример геометрической интерпретации решения оптимизационной задачи линейного программирования

## ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕСТНОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ МЕСТНОСТИ

- 3.1 Понятие цифровой модели местности и математической модели местности
- 3.2 Виды цифровых моделей рельефа. Регулярные ЦМР, их достоинства и недостатки. Нерегулярные ЦММ
- 3.3 ЦМР, построенные по поперечникам к оси магистрального хода. Основные элементы цифровой модели ситуации
- 3.4 Методы построения цифровых моделей местности и их точность
- 3.5 Моделирование поверхности. Триангуляция Делоне
- 3.6 Математическое моделирование местности (МММ).
- 3.7 Задачи, решаемые с использованием цифровых и математических моделей местности

### **3.1 Понятие цифровой модели местности и математической модели местности**

**Цифровой моделью местности (ЦММ)** называют совокупность точек местности с известными трехмерными координатами и различными кодовыми обозначениями, предназначенную для аппроксимации местности с ее природными характеристиками, условиями и объектами. Иначе - представление топографической информации в цифровом виде называется *цифровой моделью местности или ЦММ*.

Кодовые обозначения характеризуют связи между соответствующими точками ЦММ.

Конечным результатом геодезических исследований на уровне САПР АД является получение модели местности в памяти ЭВМ на ширине полосы варьирования. Информация о местности хранится в виде набора точек с заданными координатами, т.е. в цифровом виде.

**Исходными данными** для построения ЦММ могут быть:

- при вводе информации в текстовых или специальных редакторах в процессе обработки материалов тахеометрической съемки, планово-высотных обоснований, линейных изысканий в подсистеме CREDO DAT;
- при обработке информации с электронных регистраторов в подсистеме CREDO DAT;
- при стереофотограмметрической обработке аэро- и космических снимков (например, с помощью систем ВНИМИ, СПТБ);
- при дигитализации картографического материала (ГРАФИТ-СПТБ и другие пользовательские системы);
- при векторизации и дигитализации отсканированного отображения (система РОСКВИТ);
- при импорте результатов проектирования в подсистемах CREDO CAD, CREDO PRO;
- при импорте данных из внешних систем.
- при непосредственном вводе данных с клавиатуры;

Последний способ хотя и характеризуется большими затратами времени и ручного труда, обладает теми достоинствами, что может быть успешно задействован при отсутствии необходимых приборов и программных средств, способных преобразовать топографическую или иную информацию в цифровой вид.

ЦММ может представлять собой многослойную конструкцию. Составными частями цифровой модели местности являются: цифровые модели рельефа (ЦМР), цифровые модели ситуации (ЦМС), цифровые модели геологического и гидрогеологического строения местности (ЦМГ) и др.

ЦМР содержит информацию о высотном положении точек местности, т.е. является трехмерной поверхностью.

**Математической моделью местности (МММ)** называют математическую интерпретацию цифровых моделей для компьютерного решения конкретных инженерных задач.

В зависимости от инженерного назначения математической модели для одной и той же ЦММ может быть использовано несколько различных МММ.

ЦММ и МММ используют, прежде всего, для получения необходимой исходной информации для автоматизированного проектирования (продольного профиля земли по оси трассы («черного» профиля), поперечных профилей, инженерно-геологических разрезов и т.д.).

Возможности цифрового и математического моделирования позволили, в частности, в корне изменить технологию проектирования автомобильных дорог и потребовали изменения технологии и методов сбора, регистрации и представления исходных данных при изысканиях.

### 3.2 Виды цифровых моделей рельефа. Регулярные ЦМР, их достоинства и недостатки. Нерегулярные ЦММ

При цифровом моделировании рельефа местности в зависимости от сложности рельефа, ситуационных особенностей местности, способа производства изысканий, задач проектирования, наличия парка современных геодезических приборов, приборов спутниковой навигации, средств геофизической подповерхностной разведки, средств автоматизации и вычислительной техники могут быть применены разнообразные принципы.

Вопросами разработки различных видов ЦМР было посвящено большое количество исследований. При этом, все известные виды ЦМР можно разбить на три большие группы: регулярные, нерегулярные и статистические.

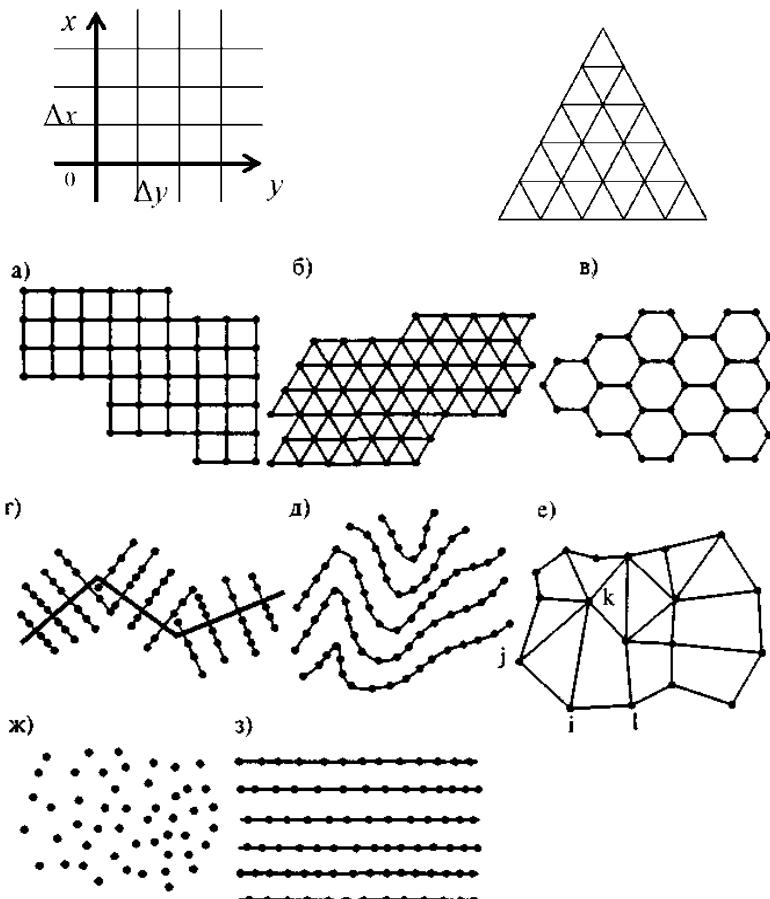


Рис.3.1. Виды цифровых моделей местности: а - в узлах правильных прямоугольных сеток; б - в узлах треугольных сеток; в - в узлах шестиугольных сеток; г - на поперечниках к магистральному ходу; д - на горизонталях; е - на структурных линиях; ж - статистическая; з - на линиях, параллельных осям фотограмметрических координат

**Регулярные ЦМР** создают путем размещения точек в узлах геометрически правильных сеток различной формы (треугольных, прямоугольных, шестиугольных), накладываемых на аппроксимируемую поверхность с заданным шагом. Наиболее часто применяют ЦММ с размещением исходных точек в узлах сеток квадратов (рис. 3.1, а) или равносторонних треугольников (рис. 3.1, б). Регулярные ЦММ в узлах правильных шестиугольных сеток (рис. 2.4, в) нашли применение при проектировании нефтепромысловых дорог в условиях равнинного рельефа Западной Сибири.

Массив исходных данных для регулярных ЦМР (рис. 2.4 а-в) может быть представлен в следующем виде:

$$m, n, \Delta x, \Delta y, x_0, y_0, h_{00}, \dots, h_{ij}, \dots, h_{mn}, \quad (3.1)$$

где,  $n$ - количество точек по направлению х и у;

$\Delta x, \Delta y$ - шаги сетки по осям х и у соответственно;

$x_0, y_0$  - координаты нулевой точки;

$h_j$ - отметки.

Регулярные модели (3.1) весьма эффективно используют при проектировании вертикальной планировки городских улиц, площадей, аэродромов и других инженерных объектов на участках местности с равнинным рельефом. Опыт использования ЦМР с регулярным массивом исходных данных показал, что требуемая точность аппроксимации рельефа достигается лишь при очень высокой плотности исходных точек местности, которая в зависимости от категории рельефа должна быть в 5-20 раз выше по сравнению с нерегулярными ЦММ.

К недостаткам регулярной ЦМР можно отнести следующее:

1. ключевые точки рельефа (вершины, впадины, границы оврагов и т.п.) не всегда совпадают с узлами сетки;

2. требуют больших трудозатрат при разбивке узловых точек на местности и определении высотных положений в каждой из них;

3. в случае резко меняющегося рельефа, если размеры ячеек очень большие, то значительная часть информации может не отразиться в ЦМР (овраги). При уменьшении размеров ячеек на довольно однородной части рельефа будет переизбыток точек, т.е. будет занят значительный объем памяти и потребуются лишние затраты времени и труда на ввод высотных отметок в узлах сетки.

Появление высокопроизводительных дигитайзеров и координаторов с автоматической регистрацией информации по заданным интервалам длины или времени, тем не менее, делает использование регулярных моделей (3.2) весьма перспективным.

**Нерегулярные ЦММ**, представленные большим числом типов нашли широкое применение в практике автоматизированного проектирования объектов строительства.

Весьма часто используют ЦММ, построенные по поперечникам к магистральному ходу (рис. 3.4, г). Массив исходных данных для ЦММ этого типа представляют в следующем виде:

$$\begin{aligned} & y_1, x_{11}, H_{11}, x_{12}, H_{12}, \dots, x_{1j}, H_{1j}; \\ & y_2, x_{21}, H_{21}, x_{22}, H_{22}, \dots, x_{2k}, H_{2k}; \\ & \dots \\ & y_i, x_{i1}, H_{i1}, x_{i2}, H_{i2}, \dots, x_{il}, H_{il}; \end{aligned} \quad (3.2)$$

где  $y_1, y_2, \dots, y_i$  - расстояние между началом трассы и точками пересечения ее оси и соответствующими поперечниками;

$x_{11}, x_{12}, \dots, x_{il}$  - расстояния между исходными точками ЦММ на поперечниках и осью

трассы, принимаемые положительными влево от трассы и отрицательными - вправо;

$H_{11}, H_{12}, \dots, H_{il}$  - высоты исходных точек.

Поскольку магистральный ход в общем случае может иметь углы поворота для представления нерегулярного массива необходимо еще задавать и координаты вершин углов поворота. Информацию для криволинейной трассы представляют уже в трехкоординатном виде.

При наличии крупномасштабных топографических планов и карт часто оказывается весьма эффективным создание ЦММ с массивом исходных точек, размещаемых на горизонталях с регистрацией их плановых координат дигитайзером через определенные интервалы длины (рис. 2.2, д). Массив исходных данных модели записывают в следующем виде:

$$\begin{aligned} &H_1, x_{11}, y_{11}, x_{12}, y_{12}, \dots, x_{1j}, y_{1j}; \\ &H_2, x_{21}, y_{21}, x_{22}, y_{22}, \dots, x_{2j}, y_{2j}; \\ &\dots \\ &H_i, x_{i1}, y_{i1}, x_{i2}, y_{i2}, \dots, x_{ij}, y_{ij}; \end{aligned} \quad (3.3)$$

где  $H_1, H_2, \dots, H_i$  - высоты соответствующих горизонталей;

$x_{11}, y_{11}, \dots, x_{21}, y_{21}, \dots, x_{ij}, y_{ij}$  - плановые координаты точек на горизонталях.

Массив точек (3.3) может быть сформирован также в ходе рисовки горизонталей на стереофотограмметрическом приборе. Весьма перспективным для создания ЦММ данного типа является использование сканирующих дигитайзеров - автоматов и координаторов.

При автоматизированном проектировании инженерных сооружений широко используют также цифровые модели на структурных линиях (структурные ЦММ), размещаемых по характерным изломам местности и с учетом ее ситуационных особенностей. Эти ЦММ обладают наименьшей исходной информационной плотностью точек местности (рис. 3.4, е).

Массив исходных точек структурных ЦММ задают в явном виде

$$x_i, y_i, H_i, j, k, l, \dots, \quad (3.4)$$

где  $x_i, y_i, H_i$  - координаты  $i$ -й точки массива характерных точек рельефа и ситуации;

$j, k, l, \dots$  - номера других точек того же массива, в направлении которых можно вести линейную интерполяцию высот; в неявном виде

$$\begin{aligned} &x_1, y_1, H_1, \dots, x_i, y_i, H_i, PR; \\ &x_{i+1}, y_{i+1}, H_{i+1}, \dots, x_j, y_j, H_j, PR; \\ &\dots \\ &x_m, y_m, H_m, \dots, x_n, y_n, H_n, PR; \end{aligned} \quad (3.5)$$

где  $PR$  - признак, определяющий ту или иную последовательность исходных точек той или иной структурной линии рельефа.

Структурные ЦММ (3.4, 3.5) используют главным образом при невысокой степени автоматизации процесса сбора и регистрации исходной информации (например, при использовании материалов обычной тахеометрической съемки, при ручной, либо полуавтоматической фотограмметрической обработке снимков, при дигитализации топографических планов и карт и т.д.).

В зависимости от вида исходного материала, используемого для формирования ЦММ, в практике автоматизированного проектирования применяют и другие виды нерегулярных цифровых моделей, например, ЦММ, построенные на линиях, параллельных координатным осям стереофотограмметрического прибора (рис. 3.1, ж), при использовании для формирования мас-

сивов точек материалов аэрофотосъемок.

**Статистические ЦММ** предполагают в своей основе нелинейную интерполяцию второго и третьего и т.д. порядков. При создании массива исходных данных статистической ЦММ точки для ее формирования выбирают в зависимости от случайного распределения, близкого к равномерному (рис. 3.2).

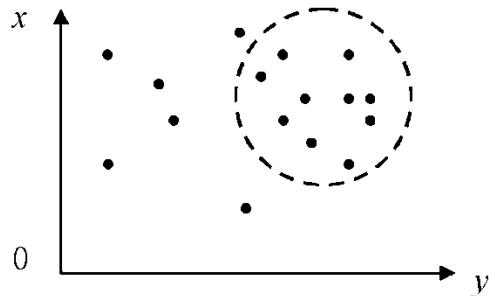


Рис.3.2 Статистическая цифровая модель

Массив исходных данных статистической ЦММ представляют в виде:

$$x_1, y_1, H_2, x_2, y_2, H_2, \dots, x_n, y_n, H_n, \quad (3.6)$$

где  $x_1, y_1, H_2, \dots, x_n, y_n, H_n$  - координаты точек статистической модели.

Статистические модели являются во многом универсальными. Сфера их применения весьма широка и не ограничивается какими-либо категориями рельефа местности, наличием того или иного исходного материала для создания ЦММ и наличием тех или иных приборов.

### 3.3 ЦМР, построенные по поперечникам к оси магистрального хода. Основные элементы цифровой модели ситуации

**Нивелирование по поперечникам.** Технология геодезических изысканий, основанная на нивелировании поперечников по проектной трассе (рис.3.3), является наиболее традиционной и привнесена из технологии изысканий новых дорог периода 50-60-х годов 20-го столетия. Суть ее заключается в том, что по оси дороге выполняется трассирование, закрепляется трасса, разбивается пикетаж и, с заданным шагом, выполняется нивелирование поперечников, нормальных (перпендикулярных) оси запроектированной дороги. Эта технология является чрезвычайно простой, требующей применения наиболее простых геодезических инструментов (теодолиты, нивелиры, рейки, рулетки), что обеспечивает ее живучесть даже в настоящее время.

Однако эта технология имеет ряд изъянов, которые не позволяют рассматривать ее в качестве базовой при геодезических изысканиях для проектирования реконструкций и ремонтов автомобильных дорог.

Во-первых, трассирование по существующей дороге (в случае реконструкции и ремонта) в полевых условиях, да еще на основе традиционных элементов трассирования, не позволяет выполнить эту процедуру достаточно качественно, то есть, с максимальным приближением проектируемой трассы по отношению к существующей.

Во-вторых, в то же время, делается допущение, что проектируемая трасса повторяет очертания существующей. И на этом основании выполняют дальнейшие изыскательские процедуры.

В-третьих, изменения проектных решений по трассе на этапе камеральных работ уже невозможны. Это обстоятельство характерно в целом для геодезических изысканий дорог "пикетным" методом.

Цифровые модели рельефа, построенные на поперечниках к магистральному ходу, целесо-

сообразно применять в начальный период перехода на системное автоматизированное проектирование, когда изыскательская информация собирается еще во многом в соответствии со старой технологией.

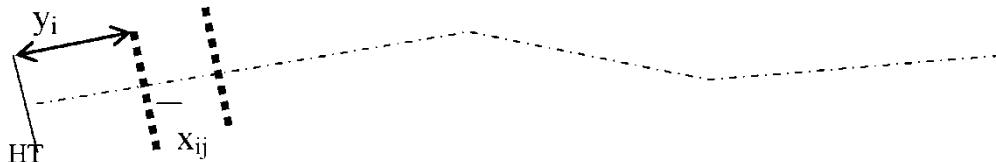


Рис.3.3. Поперечники к магистральному ходу

Массив исходных данных для ЦМР можно представить в следующем виде.

$y_i, x_{i1}, h_{i1}, \dots, x_{ij}, h_{ij}, \dots, x_{in}, h_{in}$ ,

где  $y_i$  – расстояние от начала трассы до  $i$ -го поперечника;

$x_{ij}$  – расстояние от оси трассы в  $i$ -м поперечнике до  $j$ -й точки;

$h_{ij}$  – отметка в точке  $i,j$ .

Помимо этого, необходимо еще задавать координаты вершин углов поворота трассы.

**Основные элементы цифровой модели ситуации.** Цифровая модель ситуации местности представляет собой совокупность объектов, положение и размеры которых заданы точками, а вид с помощью условных знаков, контуров, линий и заполнений. По методу построений и характеристикам различают точечные, линейные и площадные объекты.

**Площадный объект** — это участок поверхности, ограниченный контуром и заполненный условным знаком. Линия контура отображается соответствующим условным знаком, а площадь контура выделяется цветом и условными знаками заполнения. Площадными объектами моделируются леса, луга, заросли кустарника, здания, сооружения и т.п.

**Линейный объект** - это прямая или ломаная линия с немасштабной шириной, отображаемая соответствующим условным знаком. Линейными объектами являются ЛЭП, ограждения, тропы, просеки и т.п.

**Точечный объект** - это объект, моделирующийся одиночным условным знаком. К данной группе относятся одиночные деревья, родники, и т.п.

### 3.4. Методы построения цифровых моделей местности и их точность

Цифровые модели рельефа и инженерно-геологического строения местности формируют на основе использования материалов наземных и аэрокосмических изысканий. Целесообразно использовать те методы топографических съемок, которые обеспечивают получение информации о местности в электронном виде, что позволяет максимально автоматизировать процесс подготовки топографических планов и ЦММ.



Рис. 3.4. Тахеометры

**Тахеометрические съемки** массово применяются в настоящее время и особенно эффективны, если их выполняют с использованием электронных тахеометров или компьютерных геодезических станций с регистрацией снимаемой информации непосредственно на магнитные носители в режиме реального времени или последующем ее вводе в память базового компьютера (рис.3.4). Она обеспечивает необходимую точность измерений, но, в тоже время, достаточно трудоемка, особенно в условиях высокой транспортной загрузки проектируемой дороги.

**Фототеодолитные съемки.** Обработку результатов фототеодолитных съемок целесообразно выполнять на универсальных стереофотограмметрических приборах с автоматической регистрацией измеряемых координат точек местности или выполнять системную компьютерную обработку, используя для этой цели автоматизированные системы типа «Fotomod».



Рис. 3.5. Лазерный построитель плоскости

монтаж существующих автомобильных дорог. Среди существующего в настоящее время многообразия лазерной геодезической техники наиболее эффективно применения для изысканий дорог лазерных построителей плоскостей (см. рис. 3.5.).

**Аэрофotosъемки.** Определение координат точек местности при обработке стереопар целесообразно производить на универсальных стереофотограмметрических приборах с автоматической регистрацией измеряемых координат на магнитных носителях, либо производить системную компьютерную обработку, используя для этой цели автоматизированные системы типа «Fotomod», предварительно сканировав стереопары или используя для этой цели электронные фотографии.

**Наземно-космические съемки** с использованием систем спутниковой навигации «GPS» наилучшим образом подходят для создания ЦММ, поскольку обеспечивают получение информации о местности непосредственно в электронном виде на магнитных носителях, что позволяет максимально автоматизировать процесс подготовки моделей (см. рис.3.6).



Рис.3.6 Система спутниковой навигации

**Инженерно-геологические изыскания** выполняют комплексно с использованием методов традиционной инженерно-геологической разведки (механическое бурение, шурфование, устройство расчисток и т.д.), аэрогеологической разведки (цветные, спектрональные, тепловые аэросъемки) и методов воздушной и наземной геофизики с автоматической регистрацией измерений на магнитные носители (вертикальное электроздонирование, электропрофилирование, сейсморазведка, статическое и динамическое зондирование и т.д.). Использование средств автоматизации и компьютерной об-

работки данных инженерно-геологических изысканий является совершенно обязательным.

Основной объем изыскательских работ для построения геолого-литологических разрезов, отбора образцов грунта, изучения их свойств, изучения гидрогеологических условий выполняется бурением скважин.

Кроме буровых и шурфовых работ, для изучения инженерно-геологических условий проложения проектируемой дороги, применяют геофизические методы и георадарные технологии [12].

*Георадар* – цифровой, портативный, геофизический прибор, предназначенный для решения широкого спектра геотехнических, геологических, экологических, инженерных и других задач, где есть необходимость оперативного мониторинга среды, получения разрезов грунта, не требующих бурения или раскопок (рис. 3.7).

Его действие основано на излучении импульсов электромагнитных волн и регистрации сигналов, отраженных от границ раздела слоев зондируемой среды, имеющих различие по диэлектрической проницаемости.

Цифровые и математические модели, представляемые в геодезических прямоугольных координатах без искажения масштабов, тем не менее, могут характеризоваться различной точностью и степенью детализации элементов рельефа, ситуации и геологического строения местности, что связано с категорией рельефа, ситуационными особенностями аппроксимируемого участка местности, масштабами используемых для построения ЦММ топографических планов и материалов аэросъемок, принятым типом цифровой модели, плотностью исходных точек и методикой аппроксимации поверхности.



Рис. 3.7. Георадары

Необходимая точность модели обязательно должна быть увязана с требуемой точностью решаемых по ней инженерных задач.

При использовании для построения ЦММ материалов традиционных топографических съемок точность ситуационных контуров принимают в соответствии с точностью выполняемых топографических съемок равной 1 мм в масштабе плана. Точность представления рельефа не должна выходить за пределы  $\frac{1}{4}$  высоты сечения горизонталей в равнинной местности,  $\frac{1}{2}$  высоты сечения - в пересеченной местности и 1 высоты сечения - в горной. Точность ЦММ при использовании материалов топографических съемок, выполняемых с помощью электронных тахеометров или приемников спутниковой навигации «GPS», учитывая, что запись информации ведется безошибочно на магнитные носители, зависит главным образом от точности используемых приборов.

При построении ЦММ по существующим топографическим планам и картам характерные точки местности снимают с точностью, принимаемой равной: 0,5 мм - для отображения ситуационных особенностей местности и 0,2, 0,3 и 0,5 высоты сечения - для отображения соответственно равнинного, пересеченного и горного рельефов.

При создании ЦММ по материалам аэросъемок или фототеодолитных съемок точность отображения ситуационных особенностей местности и рельефа определяется точностью считываия фотограмметрических координат, которую обеспечивает тот или иной используемый стереофотограмметрический прибор.

Для обеспечения необходимой точности аппроксимации рельефа местности плотность исходного массива точек (среднюю удаленность друг от друга) для регулярных и нерегулярных (статистических) моделей принимают:

- в равнинной местности.....20-30 м;
- в пересеченной местности.....10-15 м;
- в горной местности.....5-7 м.

### 3.5. Моделирование поверхности. Триангуляция Делоне

На введённых точках регулярным или нерегулярным способами, моделирующие рельеф земли далее строится модель поверхности.

#### *Триангуляция*

Наиболее часто в системах САПР рельеф моделируется триангуляцией - множеством треугольных граней (рис. 3.8.), построенных на введённых точках.

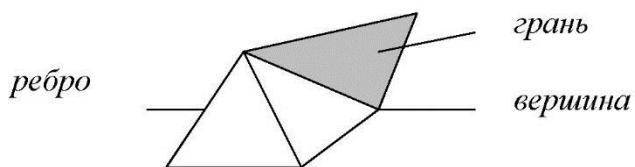


Рис.3.8. Треугольные грани

Другими словами, создается сеть, которая состоит из треугольных граней, построенных на точках (вершинах граней) с заданными координатами  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ . Поверхность внутри каждого треугольника представляет собой плоскость.

Существует несколько методов построения триангуляций. В настоящее время чаще всего используется триангуляция Делоне. Она строится однозначно и соединяет точки ЦМР в наиболее правильные треугольники, т.е. наиболее приближены к равностороннему треугольнику.

*Круговое свойство:* чтобы триангуляция была триангуляцией Делоне необходимо и достаточно, чтобы внутри окружности, описанной вокруг любого из треугольников, не лежало ни одной другой вершины триангуляции (рис. 3.9).

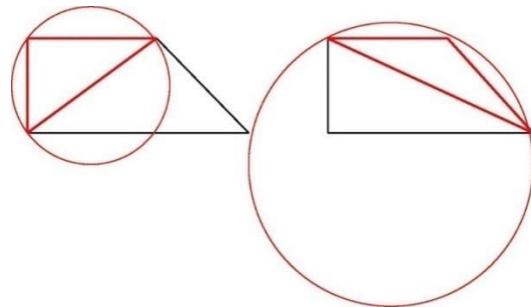


Рис. 3.9. Триангуляция Делоне

Перед построением триангуляции строится *контуры рельефа* - это участок поверхности, имеющий, по мнению пользователя, однородный рельеф. Другим элементом триангуляции является *структурная линия*. Она представляет собой линию, соединяющую точки ЦМР, и однозначно определяющую триангулирование участка поверхности. Каждый отрезок структурной

линии при формировании ЦМР является ребром треугольника.

Рельеф на экране монитора изображается и в твердых копиях (треугольниках), и также как на топографических картах: в горизонталях и условными знаками обрывов и оврагов.

Достоинством триангуляции является простота алгоритма. Недостаток заключается в том, что при малом количестве точек модель искажает плавные формы рельефа.

Высотное положение любой точки определяется линейной интерполяцией внутри каждого треугольника. Достоверность вычислений зависит от плотности исходной информации.

### 3.6. Математическое моделирование местности

Математические связи между исходными точками цифровых моделей описывают линейными, либо нелинейными (степенными) зависимостями. В первом случае связь между смежными точками модели описывается уравнениями плоскостей, проходящими через каждые три смежные точки модели, во втором - криволинейными поверхностями разного порядка, и, таким образом, рельеф местности задается либо множеством пересекающихся между собой плоскостей, либо поверхностей различного порядка кривизны.

Решение наиболее актуальной задачи при математическом моделировании рельефа и инженерно-геологического строения местности заключается в определении высот точек местности, а также уровней грунтовых вод и соответствующих геологических напластований в пикетных и плюсовых точках по оси запроектированных вариантов трассы и на поперечниках.

Подавляющее число регулярных и нерегулярных ЦММ предполагают при последующем математическом моделировании линейную интерполяцию высот между смежными точками модели.

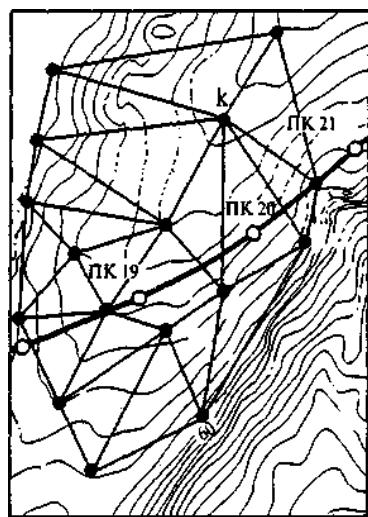


Рис. 3.10. Линейная интерполяция высот между смежными точками ЦММ

Задача определения высот точек трассы, уровней грунтовых вод и поверхностей геологических напластований сводится к нахождению в каждом случае тех смежных исходных точек модели, между которыми попадает соответствующая искомая точка трассы, в нахождении коэффициентов уравнения плоскости, проходящей через эти три точки, и, наконец, в определении по полученному уравнению искомой высоты заданной точки (рис.3.10).

Если искомая точка трассы (например, ПК 20) попадает между смежными исходными точками ЦММ с номерами  $j$ ,  $k$  и  $l$ , то уравнение искомой плоскости в общем виде может быть представлено:

$$H = AX + BY + C. \quad (3.7)$$

В уравнении (3.1) известны проектные координаты  $X$  и  $Y$  точки трассы (например, ПК

20), высоту которой нужно определить, но не известны коэффициенты  $A$ ,  $B$  и  $C$  уравнения плоскости, проходящей через исходные точки  $j$ ,  $k$  и  $l$  цифровой модели.

Если в уравнение (3.1) подставить известные координаты трех исходных точек цифровой модели, то получим три уравнения, в которых не известны только три коэффициента  $A$ ,  $B$  и  $C$ :

$$\begin{aligned} H_j &= Ax_j + By_j + C; \\ H_k &= Ax_k + By_k + C; \\ H_l &= Ax_l + By_l + C; \end{aligned} \quad (3.8)$$

Система уравнений (3.8) решается в матричной форме или методом «прогонки», в результате чего определяются неизвестные коэффициенты  $A$ ,  $B$  и  $C$ .

Уравнение (3.1), подставив в которое проектные координаты  $X$  и  $Y$  искомой точки трассы, определяет ее высоту  $H$ .

Наиболее универсальными являются статистические ЦММ, математическая реализация которых заключается в использовании метода «плавающего квадрата» или «плавающего круга», в пределах которого строится криволинейная поверхность  $n$ -го порядка (рис. 3.8).

Наиболее часто для математического моделирования рельефа используют уравнения поверхности 2-го порядка:

$$H = AX^2 + BXU + CY^2 + DX + EY + F, \quad (3.9)$$

где  $X$ ,  $Y$  - известные проектные координаты точки, высоту которой требуется определить;  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$ ,  $E$ ,  $F$  - коэффициенты уравнения аппроксимирующей поверхности 2-го порядка.

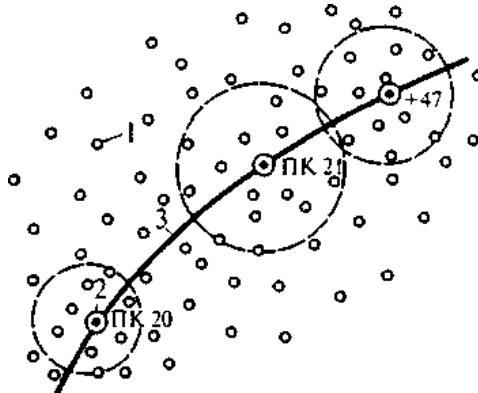


Рис. 3.11. Математическое моделирование рельефа «плавающей» криволинейной поверхностью: 1 - точки статистической ЦММ; 2 - точки трассы; 3 - трасса

Основная идея «плавающей» аппроксимации заключается в том, что по трассе дороги от точки к точке перемещается круг или квадрат таким образом, что каждая точка трассы, высоту которой требуется определить, размещается в его центре (например, ПК 20 на рис. 3.11). Радиус круга или размеры стороны квадрата автоматически устанавливаются такими, чтобы в их пределы попало не менее 10 исходных точек модели. Поскольку радиус круга или размеры стороны квадрата меняются с дискретным шагом, соответственно  $\Delta r$  и  $\Delta b$ , то в пределах выделяемых ими площадей может оказаться и более 10 точек модели (например, 11, 12, 13 и т.д.).

Поскольку коэффициенты  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$ ,  $E$ ,  $F$  в аппроксимирующем уравнении (3.9) не известны, то для каждой точки модели, попавшей в пределы круга или квадрата, записывают уравнения:

$$\begin{aligned}
 H_j &= Ax_j^2 + Bx_jy_j + Cy_j^2 + Dx_j + Ey_j + F; \\
 H_k &= Ax_k^2 + Bx_ky_k + Cy_k^2 + Dx_k + Ey_k + F; \\
 \dots \\
 H_n &= Ax_n^2 + Bx_ny_n + Cy_n^2 + Dx_n + Ey_n + F; \\
 \end{aligned} \tag{3.10}$$

где  $A, B, C, D, E, F$  - неизвестные коэффициенты уравнения аппроксимируемой поверхности;

$H_j, x_j, y_j, \dots, H_n, x_n, y_n$  - известные координаты точек модели, попавших в пределы круга или квадрата.

Поскольку число неизвестных в системе (3.10) меньше числа уравнений (которых не менее 10), то система решается методом «наименьших квадратов». Таким образом, определяют неизвестные коэффициенты аппроксимирующего уравнения (3.10), подставив в которое известные проектные координаты  $X$  и  $Y$  точки трассы (например, ПК 20), определяют ее высоту  $H$ .

Далее центр круга или квадрата перемещают в очередную точку трассы (например, на ПК 21) и процедура повторяется. При этом, если плотность исходных точек модели в районе очередной точки трассы уменьшилась, то размеры круга или квадрата автоматически возрастают, а если плотность возросла - то наоборот уменьшаются.

Для математического описания ситуационных, почвенно-грунтовых, гидрогеологических и других условий местности используют контурную индексацию объектов местности с поперечнем номеров точек вдоль каждого контура (граница пашни, лес, река, ЛЭП, газопровод и т.д., например,  $K_3; 3; 21; 43; 24; 26$ . Для замкнутых контуров (здание, сад, огород, пруд и т.д.) точки замыкания повторяются, например,  $C_7; 13; 15; 52; 16; 13$ .

### 3.7. Задачи, решаемые с использованием цифровых и математических моделей

В рамках системного автоматизированного проектирования (САПР) автомобильных дорог с помощью цифровых и математических моделей решается широкий круг инженерных задач, которые ранее частично находили решение другими методами и средствами:

- оптимальное пространственное трассирование автомобильных дорог. Решение этой актуальной задачи с привлечением математического аппарата оптимизации проектных решений стало возможным благодаря развитию методов цифрового и математического моделирования местности;

- получение продольных профилей земли по оси вариантов трассы, запроектированных с использованием крупномасштабных топографических планов. В рамках изысканий при традиционном проектировании продольный профиль по оси трассы получали в результате выполнения трудоемкого комплекса полевых геодезических работ, как правило, средствами традиционной наземной геодезии (трассирование, закрепление трассы, разбивка пикетажа, двойное геометрическое нивелирование и т.д.);

- получение поперечных профилей земли. Эта работа при традиционных изысканиях выполнялась, как правило, методом тригонометрического нивелирования (иногда, геометрическим нивелированием);

- получение продольных по оси трассы и поперечных инженерно-геологических разрезов. При традиционных изысканиях эту совершенно необходимую для проектирования информацию получали в результате выполнения комплекса чрезвычайно трудоемких и дорогих инженерно-геологических работ путем механического бурения, шурфования, устройства расчисток и т.д.;

- получение исходной инженерно-гидрологической информации для проектирования водопропускных сооружений и системы поверхностного водоотвода (площади водосбора, живые

сечения, морфостворы и гидростворы, уклоны логов и их склонов и т.д. для математического моделирования стока ливневых и талых вод и т.д.);

- проектирование системы дорожного поверхностного водоотвода (куветы, быстротоки, нагорные и водоотводные канавы и т.д.);

- решение задачи распределения земляных масс и подсчеты объемов земляных работ;

- решение задач вертикальной планировки при проектировании городских площадей, строительных площадок, городских улиц и дорог;

- пространственное моделирование полотна автомобильных дорог и прилегающего ландшафта. Решение этой задачи широко используют при ландшафтном проектировании автомобильных дорог для обеспечения зрительной плавности и ясности трассы и обеспечения гармоничного вписывания полотна автомобильных дорог в прилегающий ландшафт с обеспечением высоких уровней удобства и безопасности движения;

- проектирование транспортных развязок автомобильных дорог в одном и разных уровнях.

Развитие и совершенствование методов цифрового и математического моделирования местности во многом предопределили и повлияли на изменение технологии и методов изысканий и проектирования автомобильных дорог, и дальнейший прогресс проектно-изыскательского дела невозможен без широкого использования в ходе выработки проектных решений, их оценки и корректировки цифровых и математических моделей местности.

## **ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ**

1. Что называется, цифровой моделью местности (ЦММ)?
2. Какие источники данных могут быть использованы для создания цифровых моделей местности?
3. Что называется, математической моделью местности (МММ)?
4. Перечислите виды цифровых моделей рельефа. Какие ЦМР считаются регулярными? Приведите схемы.
5. Как описывается массив исходных данных для регулярных ЦМ? Перечислите достоинства и недостатки регулярных ЦМ
6. Какие ЦММ считаются нерегулярными? Приведите схемы.
7. В чем сущность ЦМР, построенные по поперечникам к оси магистрального хода?
8. Перечислите основные элементы цифровой модели ситуации?
9. Тахеометрические и фототеодолитные съемки. Наземное лазерное сканирование
10. Какими современными средствами выполняют инженерно-геологические изыскания?
11. В чем сущность триангуляционной цифровой модели рельефа?
12. Что называется, триангуляцией Делоне и какими свойствами она обладает?
13. Чем описывается математические связи между исходными точками цифровых моделей?
14. В чем заключается основная идея «плавающей» аппроксимации?
15. Какие задачи дорожного строительства решаются с использованием цифровых и математических моделей?

**Лекция №4**

## **ПРИКЛАДНОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САПР АД**

- 4.1 Краткая характеристика программного комплекса САПР АД Топоматик Robur
- 4.2 Краткая характеристика программного комплекса САПР АД IndorCAD/Road
- 4.3 Краткая характеристика программного комплекса САПР АД PLATEIA
- 4.4 Краткая характеристика программного комплекса САПР АД MX Road
- 4.5 Краткая характеристика программного комплекса САПР АД CREDO

#### 4.6 Краткая характеристика программного комплекса PYTHAGORAS

#### 4.7 Краткая характеристика программного комплекса САПР АД GIP

#### 4.8 САПР автомобильных дорог - перспективы и развития

Существуют несколько программных продуктов класса САПР, которые используются в проектных институтах и организациях. Они различаются между собой по комплексности, удобству интерфейса, соответствуя сложившемся технологиям проектирования и пр.

Выбор наиболее приемлемых программ для проектирования дорог целесообразно вести, в первую очередь, среди перечня сертифицированных программных средств.

С 1999 года, в соответствии с Распоряжением Госстроя РФ «О сертификации программных средств», всем организациям, выполняющим проектно-изыскательские работы для строительства, а также осуществляющим экспертизу проектов на строительство объектов различного назначения, рекомендовано использовать сертифицированные программные продукты. В этом же Распоряжении рекомендовано организациям – разработчикам программных средств (как отечественным, так и зарубежным) осуществлять сертификацию программной продукции на соответствие требованиям нормативных документов, действующих на территории РФ.

Ниже представлен обзор сертифицированных САПР автомобильных дорог, зарегистрированных в перечне фонда программных средств Госстроя РФ ([www.gpcps.ru](http://www.gpcps.ru)) по состоянию на 1 июля 2010 года, а также программ, имеющих широкое распространение в зарубежных странах.

#### **4.1 Краткая характеристика программного комплекса САПР АД Топоматик Robur**

Программный комплекс Топоматик **Robur** разрабатывается в научно-производственной фирме Топоматик (г. Санкт-Петербург) ([www.topomatic.ru](http://www.topomatic.ru)) с 1991 года и обеспечивает решение комплекса дорожных задач от обработки материалов изысканий до выноса проекта в натуру.

Топоматик Robur позволяет проектировать загородные дороги всех категорий, как с разделительной полосой, так и без нее.

Программа имеет три рабочих окна: План, Профиль и Поперечник (см. рис. 5.1), что позволяет вести проектирование трассы как пространственного объекта.

Данные в окнах взаимосвязаны. Редактирование в одном окне приводит к модификации данных в других окнах. Например, изменение продольного профиля оси трассы ведет к соответствующему вертикальному сдвигу поперечников.

Фактические и проектные данные в Robur представлены в виде поверхностей. Проект может содержать неограниченное количество поверхностей.

Robur рассчитывает объемы и записывает их в текстовый файл, который может быть импортирован в любой табличный процессор (например, Excel) для создания ведомостей, а также использован в дальнейшем для автоматизированного составления смет.

Для работы с ситуационным планом в Топоматик Robur предназначен специализированный графический редактор, который позволяет вводить и редактировать примитивы чертежа ситуации, работать с блоками и подгружать растровые подложки, использовать привязки и производить измерения.



Рис. 4.1. Система Robur в трехоконном режиме

Импорт и экспорт чертежа ситуации производится в формате DXF, либо при помощи технологии СОМ путем непосредственного взаимодействия с AutoCAD.

В программе Топоматик Robur имеется пополняемая библиотека условных знаков для топографических планов масштабов: 1:500; 1:1000; 1:2000; 1:5000; 1:10000. В библиотеку включены точечные, линейные и площадные условные знаки, утвержденные ГУКГ 25 ноября 1986 года. Пользователь имеет возможность редактировать библиотеку, дополнять и удалять условные знаки. Условный знак в библиотеке хранится в виде набора плоских блоков, каждый для своего масштаба, и одного трехмерного блока, используемого при визуализации.

Фактические и проектные данные в Топоматик Robur представлены в виде поверхностей. Поверхность представляет собой совокупность треугольников, имеющих общие ребра (рис.4.2).

В Топоматик Robur имеется обширный набор функций для работы с поверхностями:

- импорт материалов изысканий;
- редактирование съемочных точек;
- автоматизированное построение структурных линий;

- построение поверхности (триангуляция по критерию Делоне);
- редактирование ребер поверхности

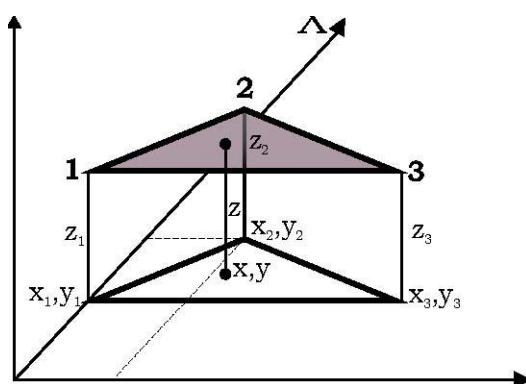


Рис.4.2 Математическое представление поверхности в виде связанных треугольников

**Создание поверхностей:** Поверхности могут создаваться как встроенными средствами Топоматик Robur, так и импортироваться из специализированных пакетов обработки материалов изысканий (например, Credo, Softdesk Civil/Survey, Gip, Inroads и др.).

Исходные данные могут быть получены с цифровых геодезических приборов, оцифровкой растров или импортом из других программ.

**Геодезическая съемка:** В Топоматик Robur имеется встроенный модуль геодезии, который позволяет обрабатывать результаты полевых изысканий: уравнивать теодолитный ход и рассчитывать тахеометрию. Исходные данные импортируются с цифровых приборов, либо вводятся с полевых журналов в табличном виде. Поддерживаются форматы данных наиболее распространенных цифровых геодезических приборов: Sokkia, Nikon, Topcon, 3TA5 и др.

Таблица 4.1

Виды обработки результатов полевых изысканий

Вид съемочных работ	Виды обработки результатов полевых изысканий
Полигонометрия	1. Ввод данных в традиционном виде 2. Расчет разомкнутых и замкнутых теодолитных ходов с разгонкой и без разгонки невязки 3. Чтение данных с электронных приборов
Тахеометрия	1. Ввод данных в традиционном виде 2. Расчет тахеометрической съемки 3. Чтение с электронных тахеометров
Нивелирование	1. Расчет нивелирных ходов 2. Контроль невязок

В итоге работы модуля рассчитываются координаты и отметки съемочных точек, используемых для создания поверхностей и оформления ситуации.

**Геологическая модель:** Геологическая модель в Топоматик Robur реализована в виде совокупности сечений. В частном случае, это продольный и поперечные профили. В программе имеется механизм ввода, импорта и редактирования информации о геологических скважинах (выработках), создания контуров геологических слоев и привязки геологических данных к проектируемому объекту.

Геологические разрезы отображаются в рабочих окнах программы в процессе проектирования и на генерируемых чертежах.

Данные геологии используются для подсчета объемов выемок с разделением по грунтам.

**Трассирование:** В Топоматик Robur реализованы два метода трассирования: эскизное и детальное проектирование плана трассы. **Эскизное проектирование:** Эскизное проектирование предназначено для быстрого редактирования горизонтального положения оси трассы. Ось представляется в виде набора вершин горизонтальных углов поворота. В каждый угол могут быть вписаны круговая и две переходные кривые (по Ксенодохову). Вершины углов, вместе с вписанными кривыми, перетаскиваются при помощи мыши. Одним из наиболее мощных инструментов эскизного проектирования плана трассы является режим динамического трассирования, позволяющий локально менять плановое положение оси трассы, сохраняя при этом за проектированные продольный профиль и поперечники на тех участках, где ось не менялась. Например, при увеличении радиуса круговой кривой, как показано на рисунке, ось трассы сместится, а Топоматик Robur автоматически перепроектирует земляное полотно на изменившемся участке, а за границами изменений оно останется нетронутым. **Детальное проектирование:** Детальное проектирование предназначено для скрупулезного подбора параметров оси трассы.

Ключевую роль здесь играют примитивы типа «Осевая линия», состоящие из сопряженных элементов: отрезков, дуг и клоуид. Каждый элемент имеет фиксирующие точки, закрепляющие его от сдвига или поворота. При редактировании осевой линии, путем перетаскивания мышью фиксирующих точек, осевая линия динамически перестраивается, причем зафиксированные элементы остаются на месте.

**Создание черных профилей:** Черные продольный и поперечные профили могут быть созданы как по цифровой модели рельефа, так и введены в табличной форме или импортированы из текстовых файлов.

Имеется возможность автоматизированного ввода информации о дождеприемных колодцах, подземных и надземных коммуникациях. Коммуникации отображаются в рабочих окнах программы и на выходных чертежах.

**Проектирование продольного профиля:** Продольный профиль представляется в виде вершин вертикальных углов с вписанными в них вертикальными кривыми (по Антонову).

Программа Топоматик Robur позволяет автоматически создавать продольный профиль по руководящей отметке и шагу проектирования. Имеется исчерпывающий набор функций для редактирования профиля, что обеспечивает чрезвычайную гибкость и удобство проектирования, особенно на сложных участках.

Для проектирования дорог в условиях городской застройки Топоматик Robur предоставляет специальный механизм создания продольного профиля путем перемещения поперечника, а также возможность автоматического создания пилообразного продольного профиля по водоотводным лоткам в условиях плоского рельефа.

Поперечный профиль состоит из трех элементов: конструкции дорожной одежды; откосов; кюветов.

Топоматик Robur позволяет использовать для моделирования трассы до 19 связанных продольных профилей: по оси; 8 слева и 8 справа; левый и правый кюветы.

**Конструкция дорожной одежды:** Верх покрытия и конструкция дорожной одежды представлены в виде шаблонов. Шаблон – это текстовый файл, создаваемый при помощи любого текстового редактора. Шаблон позволяет описать произвольную конфигурацию поперечного профиля (например, бортовые камни, дренаж и т.д.). Более того, замкнутые контуры внутри шаблона могут быть использованы для подсчета объемов работ. Таким образом, шаблон является универсальным способом представления верхней части дороги.

В базовый комплект Топоматик Robur включены следующие шаблоны:

- для загородных дорог без разделительной полосы (II–V категории);
- для загородных дорог с разделительной полосой (I категория);
- для городских дорог с односкатным профилем;
- для городских дорог с двускатным профилем.

**Отгон виражей.** Проектирования виражей в Топоматик Robur производится при помощи механизма, позволяющего выполнить отгон по произвольной схеме, задавая ширины полос и поперечные уклоны на характерных поперечниках (начало отгона, точка “икс”, конец отгона). На промежуточных пикетах эти величины интерполируются.

В Топоматик Robur реализованы наиболее часто встречающиеся типовые схемы отгона виражей (по ТПР 503-0-45) как для дорог без разделительной полосы, так и для дорог с разделительной полосой.

Для дорог без разделительной полосы вращение производится относительно оси, а для дорог с разделительной полосой – относительно либо внутренней кромки, либо перспективной

кромки, либо середины проезжей части, либо произвольной точки.

**Проектирование откосов.** Откосы в насыпи и в выемке могут иметь до четырех ступеней. Каждая ступень задается коэффициентом заложения откоса, высотой ступени и длиной полки.

Конфигурация откосов определяется параметрами, которые могут быть заданы как для каждого конкретного поперечника раздельно для левой и правой стороны, так и для группы поперечников на выбранном участке.

Для облегчения проектирования, наиболее часто применяемые поперечники могут быть помещены в библиотеку типовых решений для их повторного использования.

Наибольшую гибкость в проектировании откосов обеспечивает применение правил. В правиле задаются предельная высота малой насыпи, предельная глубина малой выемки, и типы откосов для малой насыпи, большой насыпи, малой выемки и большой выемки. Правило определяет тип откосов, который должен быть применен на конкретном пикете в зависимости от разницы отметок между бровкой и черной землей.

**Проектирование кюветов.** Кювет задается коэффициентами заложения внутреннего и внешнего откосов, глубиной, шириной дна, длиной и уклоном прикюветной полки. Как правило, проектирование кюветов производится в два этапа. Сначала на всей длине трассы задают глубину кювета от бровки и строят продольный профиль кювета. Затем редактируют полученный профиль в целях организации водоотвода и импортируют исправленный профиль обратно в поперечники.

**Реконструкция.** При проведении работ по реконструкции дорог для экономии строительного материала может быть использовано существующее дорожное покрытие.

Существует два основных способа использования существующего покрытия:

**1. Досыпка** – это способ реконструкции, при котором существующее дорожное покрытие и земляное полотно не подвергается никаким существенным изменениям. Непосредственно поверх них осуществляется устройство новой дорожной конструкции.

**2. Уширение** – это способ реконструкции, при котором существующее дорожное покрытие может использоваться при устройстве новой дорожной одеждой с учетом необходимой величины подрубки кромок проезжей части.



Рис.4.3 Срезка существующей обочины для устройства необходимого уширения проезжей части

На рис. происходит срезка существующей обочины для устройства необходимого уширения проезжей части.

**Ремонт покрытия.** Блок задач по ремонту покрытия предназначен для автоматизации проектирования ремонта и реконструкции автомобильных дорог. Модуль позволяет запроектировать выравнивание покрытия, рассчитать проектные поперечники в пределах существующей дорожной одежды с учетом проектной ширины, проектных уклонов и значения минимального

(максимального) допустимого усиления.

Решение задачи по выравниванию покрытия включает в себя следующие этапы:

1. Подготовка исходных данных;
2. Задание параметров выравнивания;
3. Проектирование профиля выравнивания;
4. Создание картограммы выравнивания и ведомости объемов.

**Картограмма работ.** В результате создается картограмма работ, на которой различными цветами показаны области фрезерования, выравнивания и полного переустройства дорожной одежды. При построении картограммы учтены следующие технологические особенности.

1. Максимально допустимая глубина фрезерования – величина, на которую можно углубиться в существующую конструкцию.

2. Минимальная технологическая толщина для выравнивающего слоя (исходя из условия возможности его укладки).

3. При уширении существующей проезжей части производится «подрубка» кромок. Выравнивание в пределах существующего покрытия ведется с учетом величины подрубки, а объемы по вырезке обочин и вновь возводимой конструкции выносятся в отдельную ведомость.

**Вынос в натуру:** Вынос в натуру производится на основе ведомости отметок и уклонов по верху покрытия автоматически создаваемой Топоматик Robur. Ведомость содержит рабочие отметки, глубины фрезерования и поперечные уклоны.

**Проектирование городских улиц:** Топоматик Robur имеет богатый функционал для проектирования городских улиц. Имеются возможности задать поперечный профиль улицы с бордюрами и тротуарами, отобразить подземные коммуникации, запроектировать водоотвод.

**Пересечения и примыкания:** Блок задач по проектированию пересечений и примыканий в одном уровне позволяет выполнять горизонтальную и вертикальную планировку перекрестков и съездов в соответствии с определенными типовыми схемами.

Параметры пересечений (радиусы, ПСП, разделительные полосы) первоначально автоматически заполняются из электронных справочников, в зависимости от категорий дорог, и могут быть в дальнейшем отредактированы.

Для вертикальной планировки пересечения увязываются профили пересекающихся дорог и профили по кромкам съездов.

В результате создается полноценная трехмерная модель пересечения, по которой рассчитываются необходимы объемы.

**Дорожная разметка.** Модуль Дорожная разметка предназначен для нанесения ее на проектное решение и оформление чертежей с учетом элементов обустройства, подсчета объемов работ и отрисовки дорожной разметки при визуализации проектного решения.

**Оценка проектных решений:** Топоматик Robur позволяет производить оценку отдельных геометрических элементов дороги и их различных сочетаний требованиям безопасности движения.

1. Оценка аварийности;
2. Оценка уровня загрузки;
3. Определение расчетной скорости и уровня безопасности движения.

В результате расчета строятся графики аварийности, скоростей и коэффициента безопасности.

**Визуализация.** Модуль визуализации предназначен для построения трехмерной модели (сцены) проектируемого объекта. С его помощью можно наглядно просмотреть проект с точки зрения конечного пользователя, а также оценить проект при принятии определенного эстетиче-

ского либо проектного решения, что может быть очень полезным.

С помощью **модуля Визуализации** можно создать интерактивную виртуальную модель проекта. **Модуль Визуализации** является отдельной программой, в которую импортируются поверхность, растры и примитивы с назначенной семантикой. Исходными данными является текущий подобъект, текущая поверхность либо их совокупность и ситуация, элементам ситуации назначается определенная семантическая информация. **Модуль Визуализации** создает точные виртуальные модели объектов проекта, например, автомобильной дороги, кюветов, домов, деревьев и т.д. Модуль снабжен библиотекой 3D объектов и библиотекой материалов. Структура библиотеки материалов устроена так, что пользователь самостоятельно может изменять существующие материалы, добавлять новые, либо удалять материалы.

**Расчет дорожной одежды:** В Топоматик Robur реализован расчет дорожной одежды согласно нормативам ОДН 218.046-01, ОДН 218.1.052-2002 и ВСН 46-83.

Расчет на прочность, морозоустойчивость и осушение выполняется отдельно для каждого участка дороги, имеющего сходные грунтово-гидрологические условия (один и тот же вид грунта земляного полотна и схему увлажнения рабочего слоя грунта), а также тип земляного полотна: насыпь, нулевые отметки или выемка. Расчет на прочность выполняется с требуемым уровнем надежности, под которым понимают вероятность безотказной работы в течение межремонтного срока службы дорожной одежды.

Программа позволяет выбрать наиболее рациональный вариант дорожной одежды по критерию минимальной стоимости конструкции.

**Искусственные сооружения:** Программный модуль Топоматик Robur - **Искусственные сооружения** предусматривает проектирование более 250-ти видов водопропускных труб с привязкой к типовым конструкциям, применяемых для водоотвода, с различными типами фундаментов, оголовков, расходов и укреплений русел и откосов насыпи для всех видов грунтов основания и различных высот насыпи над проектируемым сооружением.

Автоматизированное проектирование малых искусственных сооружений в соответствии со СНиП «МОСТЫ И ТРУБЫ» и типовыми альбомами: 3.501.1-144 -круглые трубы бесфундаментные; 3.501.1-144 -круглые трубы с плоским опиранием; 3.501.1-177 - прямоугольные трубы.

Функциональные возможности:

1. Автоматизированное проектирование труб и малых мостов на линейных трассах и в генеральных планах площадок.
2. Автоматизированная посадка трубы на рельеф с использованием цифровой модели рельефа.
3. Минимизирование объемов основных работ и используемых материалов (сборного железобетона, арматуры, гидроизоляции).
4. Рациональная раскладка звеньев труб с привязкой к профилю земляного полотна.
5. Возможность производить укладку трубы в плане и профиле по различным критериям.
6. Возможность производить подсчет реальных объемов земли.
7. Диагностика ошибочных проектных решений в соответствии с действующими дорожными нормами проектирования.
8. Выполнение подсчетов всех необходимых координат и отметок.
9. Создание чертежей профиля трубы; плана трубы; фасада конструкции в плане и в профиле; разреза средней части конструкции;
10. Вывод таблиц объемов работ; основных показателей (отметки и длины, данные гидравлического расчета); спецификации блоков; площадей и объемов укрепительных работ.

## **4.2 Краткая характеристика программного комплекса САПР АД IndorCAD/Road**

**Программный комплекс САПР АД IndorCAD/Road** ([www.indorsoft.ru](http://www.indorsoft.ru)) развивается с начала 90-х годов. До 2003 г. система разрабатывалась в Инженерном дорожном центре «Индор» (г. Томск) и называлась ReCAD (по аббревиатуре слов Реконструкция Автомобильных Дорог). На начальном этапе развития система ReCAD представляла собой исследовательскую систему, на которой отрабатывались новые подходы и алгоритмы автоматизированного проектирования автомобильных дорог. В 2001 г. была завершена разработка системы ReCAD 3-го поколения под управлением ОС Windows, которая была анонсирована и сертифицирована как программный продукт для массового применения. С этого времени система ReCAD широко применяется в производственной практике в России и в странах СНГ.

В марте 2003 г. система ReCAD была передана для дальнейшего развития в специализированную фирму по разработке программного обеспечения «ИндорСофт. Инженерные сети и дороги», которая наряду с системами автоматизированного проектирования разрабатывает и геоинформационные системы. В этот период система ReCAD была переименована в систему IndorCAD/Road. IndorCAD, подобно MX, является ядром для целой линейки САПР объектов транспортного, промышленного и гражданского строительства, в которую помимо RoAD (Автомобильные дороги), также входят Торо (Топография), Rail (Железные дороги), Pipe (Трубопроводы), Site (Генеральные планы)

Теоретические основы, а также расчетные схемы и алгоритмы для системы IndorCAD/Road были разработаны д.т.н. Бойковым В. Н., д.т.н. Федотовым Г. А., д.т.н. Скворцовыми А. В., д.ф.-м.н. Шумиловым Б. М., к.т.н. Крысиным С. П., инженерами Люстом С. Р., Петренко Д. А. (генеральный конструктор), Перфильевым А. В. и др.

Система IndorCAD/Road состоит из пяти основных компонентов (окон): план, продольный профиль, верх земляного полотна, поперечный профиль, 3D вид. В системе реализован принцип единой модели дороги и, как следствие, любые изменения в одной из проекций дороги (план, продольный и поперечный профили) приведут к немедленным изменениям в других проекциях. Такой подход позволяет получать непротиворечивые проектные решения, дает возможность одновременно корректировать все проекции проектируемого объекта и обеспечивает организацию коллективной работы над одним проектом.

Система автоматизированного проектирования автомобильных дорог IndorCAD/Road совместно с системой подготовки чертежей IndorDraw является универсальным программным комплексом по проектированию автомобильных и городских дорог

Система IndorCAD/Road позволяет проектировать автомобильные дороги всех категорий на стадии их строительства, реконструкции, модернизации и ремонта. В основу идеологии системы положены, в первую очередь, расчетные схемы для реконструкции дорог. Новое строительство здесь понимается как частный случай реконструкции, то есть в отсутствии фактора учета элементов существующей дороги.

**План.** Здесь осуществляется построение ЦММ по исходным данным, проектирование плана трассы и построение ЦМП. В окне плана отображаются все объекты проекта: растровые подложки, поверхности (ЦММ, ЦМП), трассы и другие элементы проекта (искусственные сооружения, инженерное обустройство).

Проект может содержать любое количество трасс (основная, вспомогательные, примыкания, пересечения и др.). В системе IndorCAD/Road реализованы как классические схемы трассирования дорог посредством тангенциального хода с закруглениями типа «клоноида - круговая кривая - клоноида», так и схемы на основе кривых Безье 3-го и 5-го порядков.

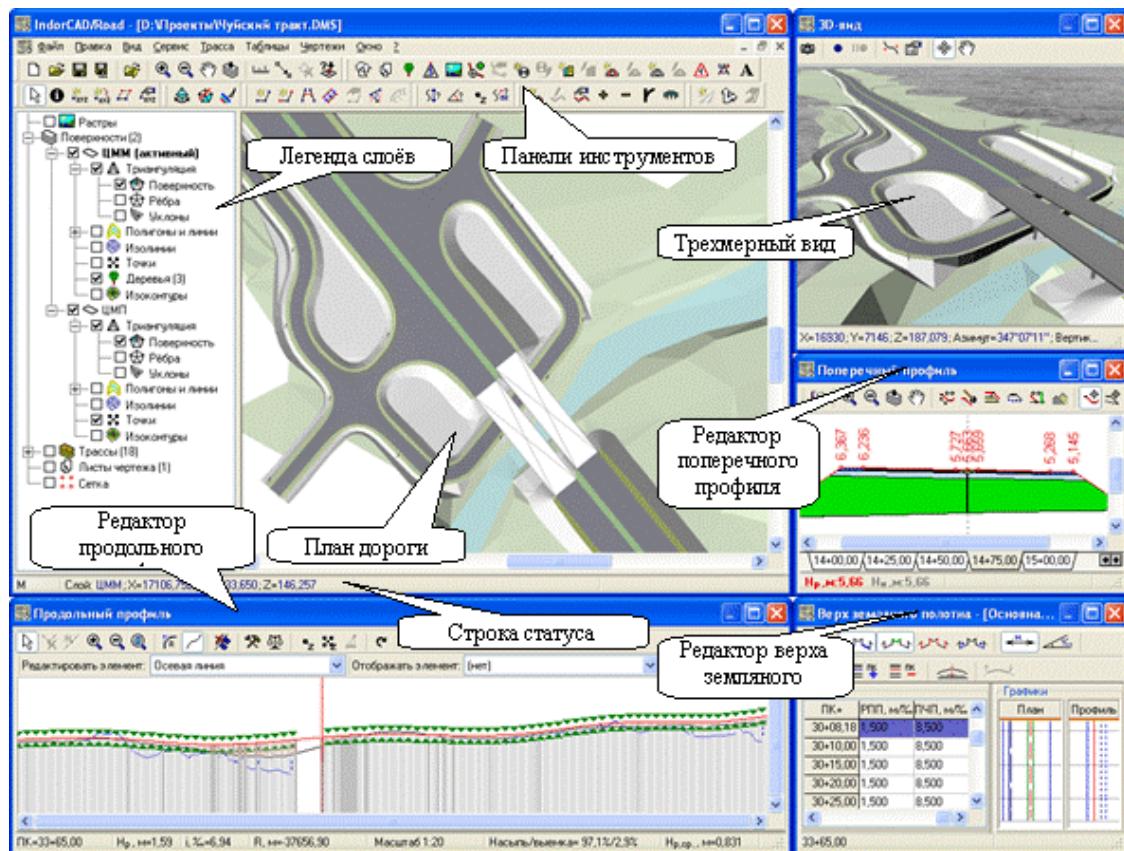


Рис. 4.4. Система IndorCAD/Road в режиме полноэкрана

**Продольный профиль.** При проектировании продольного профиля в системе IndorCAD/Road можно использовать классический или сплайновый метод. При использовании сплайнового метода система выполняет автоматический поиск наиболее подходящего (оптимального) решения с учетом различных ограничений, накладываемых на точки проектной линии (допустимые вертикальные перемещения точек).

Автоматически строятся графики рабочих, проектных и интерполированных отметок, графики кривизны, уклонов и другие.

В системе IndorCAD/Road предусмотрены специальные инструменты для ввода информации по геологическим колонкам и построения графиков залегания грунтов. Если на плане нанесены скважины, то в продольном профиле отображаются их геологические разрезы.

**Верх земляного полотна.** В редакторе верха земляного полотна выполняется проектирование верха земляного полотна (ВЗП) дорог. Горизонтальное проектирование ВЗП предполагает формирование проезжих частей и обочин, разделительных полос, бордюров, переходно-скоростных полос и карманов автобусных остановок.

Вертикальное проектирование состоит в моделировании виражей и отгонов виражей. При этом автоматически выполняется анализ соответствия виражка расчетной скорости автомобиля при заданном коэффициенте поперечной силы.

**Поперечный профиль.** В редакторе поперечного профиля осуществляется проектирование поперечных профилей трассы.

При моделировании проектной поверхности можно использовать уже существующие модели из библиотеки типовых решений по поперечным профилям либо строить новые.

**3D-вид.** Одной из важных задач, выполняемых при проектировании автомобильных дорог, является визуальная оценка проектного решения.

В системе IndorCAD/Road для визуальной оценки решений разработан модуль трехмерной визуализации, позволяющий

1. достаточно реалистично представить проект вместе с инженерным обустройством, зелеными насаждениями и другими объектами, расположенными вдоль дороги.

2. производить моделирование транспортных потоков с учетом заданных для каждой трассы интенсивностей и направлений движения. Это позволяет визуально оценивать возможные места заторов и принимать меры по их устранению.

3. просмотреть трехмерный вид проекта в окне 3D-вида. Пользователю предоставляется возможность интерактивного перемещения в пространстве по свободной траектории и «проезда» по трассе, когда отображается вид на дорогу с точки зрения водителя. Результаты пролета над дорогой или проезда по ней могут быть записаны в видеофайл формата \*.avi для последующей демонстрации видеоролика без системы IndorCAD/Road. Такой приём с демонстрацией видеофильма может быть очень полезен, например, при защите выполненных проектов у заказчика.

### **Программные модули.**

#### **IndorSurvey – Геодезический редактор**

Геодезический редактор IndorSurvey предназначен для обработки данных, полученных в ходе топографо-геодезических изысканий. Редактор предоставляет следующие возможности:

- ввод исходных данных;
- визуальный анализ корректности данных;
- увязывание теодолитных и тахеометрических ходов;
- обработка нескольких связанных между собой ходов;
- выполнение геодезических расчетов;
- передача обработанных данных в качестве векторных объектов в другие программы;
- импорт данных геодезических приборов;
- формирование отчетных документов.

Редактор IndorSurvey может использоваться как отдельный программный продукт, так и в составе других систем (геоинформационной системы IndorGIS, системы проектирования Indor CAD).

#### **IndorDraw.**

Чертежи по проекту (план трассы, профиль структурной линии, продольный профиль, геологические колонки, поперечные профили) создаются в формате системы подготовки чертежей IndorDraw . Такой подход позволяет передать модель проекта на уровень чертежа без потерь и в той же структуре слоев, которая задана в системе проектирования. Передача чертежей в другие графические редакторы (AutoCAD, Microstation) возможна, но не из системы проектирования, а из системы подготовки чертежей IndorDraw.

### **4.3 Краткая характеристика программного комплекса САПР АД PLATEIA**

САПР АД PLATEIA (рис.4.4) в переводе с древнегреческого – дорога, путь) разрабатывается с начала 90-х годов словенской фирмой CGS ([www.cgs.com](http://www.cgs.com)). Программный комплекс PLATEIA использует в качестве графического ядра AutoCAD (рекомендуется Autodesk Land Desktop). Работает со стандартами многих стран: Россия, Словакия, Швейцария, Чехия, Германия, Польша, Румыния и др. PLATEIA предназначена для проектирования и реконструкции дорог, пересечений и примыканий. Состоит из модулей: Местность, Оси, Продольный профиль, Поперечные сечения, Транспорт.

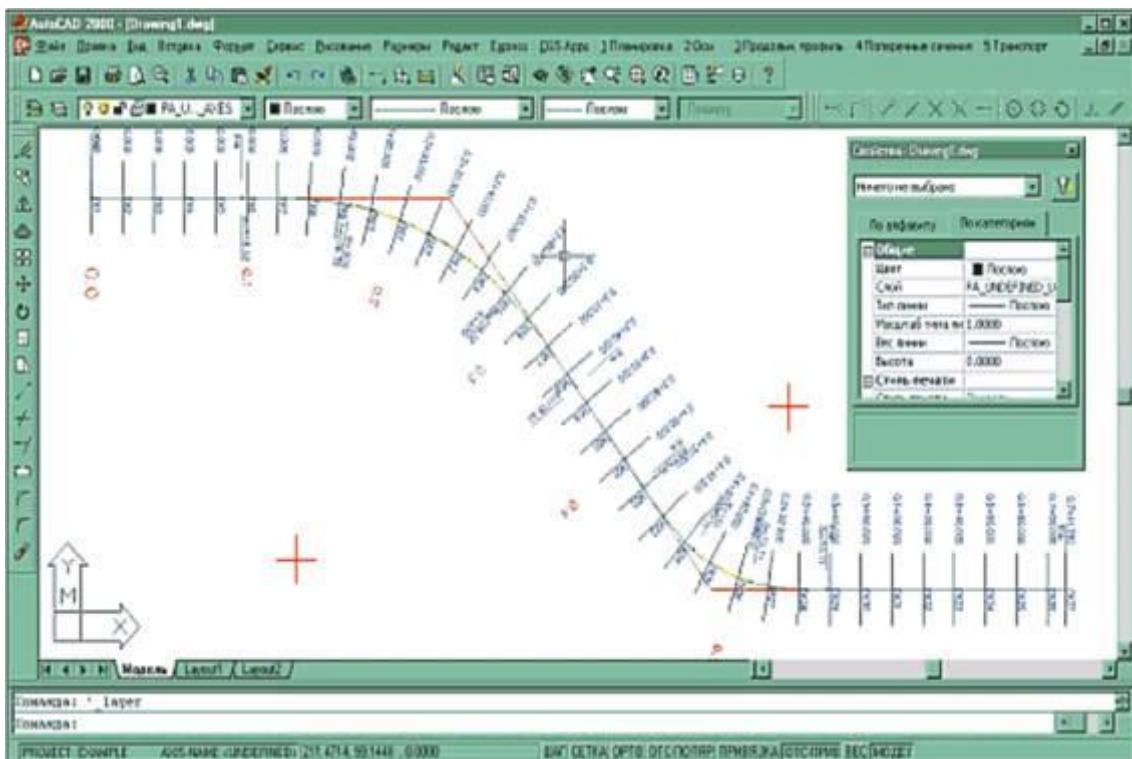


Рис. 4.5. Система Plateia в среде AutoCAD 2000

Модуль *Местность (Layout)* – набор инструментов для работы с ЦММ и картами. Модуль обладает средствами импорта данных из электронных геодезических тахеометров и из файлов различных форматов. На основе этих данных Layout генерирует трехмерную модель рельефа, которую можно импортировать в специализированные программы визуализации и в ГИС (AutoCAD Map, Autodesk World).

Модуль *Ось (Axes)* позволяет трассировать осевые линии проектируемой дороги. Трассирование выполняется с помощью прямых, круговых и переходных кривых. В модуле *Axes* хорошо развит блок контроля параметров проектируемой трассы в соответствии с заданной категорией дороги и расчетной скоростью движения.

Модуль *Продольный профиль (Longitudinal Sections)* включает инструменты формирования проектной линии, водоотводных каналов и приближенного расчета объемов земляных масс. Расчет проектной линии осуществляется по методу тангенсов.

Модуль *Поперечные сечения (Cross Sections)* позволяет производить параметрическую отрисовку откосов, каналов, растительного слоя, слоя подсыпки и др. Построение поперечников обеспечивает возможность точного расчета объемов всех элементов земляного полотна дороги.

Модуль *Транспорт (Traffic)* – это набор инструментов для проектирования пересечений, разметки дорожных знаков. Уникальная функция Динамическая траектория (*Dynamic Vehicle Curves*) позволяет в интерактивном режиме анализировать траектории движения транспорта с учетом их габаритов и заносов на поворотах.

Российским дистрибутором, осуществляющим распространение и поддержку программы PLATEIA, является компания «Прин» ([www.prin.ru](http://www.prin.ru)).

#### **4.4 Краткая характеристика программного комплекса САПР АД MXRoad**

**САПР АД MXRoad** (рис.4.5) является одним из модулей семейства продуктов MX от фирмы Infrasoft (США) (Infrasoft в 2003 г. вошла в состав компании Bentley Systems, одного из мировых лидеров в разработке программ класса САПР и ГИС). Помимо MXRoad в состав мо-

дудей входит система проектирования железных дорог и их инфраструктуры (MXRail), система планировки земельных участков под застройку (MXSite), система проектирования модернизации и ремонта улиц и дорог (MXRenew) и редактор подготовки проектной документации (MXDraw).

MXRoad предназначен для проектирования автомобильных дорог любой технической категории, пересечений и примыканий разной сложности.

Главной концепцией, которая лежит в основе продуктов MX, является моделирование *стрингами* (струнами). Струны – это трехмерные ломаные линии, которые представляют собой модель проектируемого объекта. Каждая струна должна иметь свое наименование и быть связана с определенными характеристиками.

MXRoad обеспечивает:

- ввод исходных данных и их анализ;
- проектирование дороги с помощью динамического 3D-трассирования;
- использование 3D-осевых линий для определения всех элементов проезжей части дороги и обочин;
- автоматический расчет виражей и приведение уклонов виража в соответствие с местными стандартами;
- автоматическое проектирование перекрестков;
- проектирование земляного полотна;
- интерактивное изменение поперечных сечений;
- проектирование конструкций дорожных одежд;
- подсчет объемов дорожных работ;
- анализ видимости;
- автоматическая подготовка чертежей и визуализация.

Также компанией Bentley Systems разработана программа MXRoad MAX, которая состоит из программ MXRoad и MXRenew и включает в себя их возможности. Программа MXRoad MAX предназначена для проектирования автомобильных дорог любой технической категории, примыканий и пересечений, проектирования реконструкции и капитального ремонта существующей дороги и дорожной одежды.

Одним из модулей семейства продуктов MX является программа MXUrban. Программа предназначена для проектирования и реконструкции городских улиц с учетом новых элементов (тротуаров, обочин, стоянок). При проектировании реконструкции городских улиц и дорог учитывается наличие застройки и инженерных коммуникаций. Возможности программы: проектирование плана, продольного и поперечных профилей; проектирование конструкций дорожных одежд, подсчет объемов земляных работ, формирование выходной документации

С модулем MXUrban может работать программа MXDrainage. Эта программа предназначена для проектирования ливневой канализации при проектировании городских улиц. Производится проектирование плана и продольного профиля сети, расчет диаметров водосточной сети и формирование выходной документации.

Подготовку русскоязычной версии системы MXRoad осуществлял Иркутский государственный университет, а поддержку и распространение этой программы обеспечивает компания EMT ([www.emt.ru](http://www.emt.ru)).



Рис. 4.6. САПР MXRoad – элементы примыканий

В начале 90-х годов этот программный продукт, но под маркой английской компании MOSS, чьи технологии впоследствии были приобретены компанией Infrasoft, позиционировался на российском рынке. Но тогда он не получил широкого распространения как из-за высокой стоимости, так и из-за плохой адаптации к требованиям российских нормативных документов. Следует также отметить, что Infrasoft в 2003 г. вошла в состав компании BentleySystems, одного из мировых лидеров в разработке программ класса САПР и ГИС.

В настоящее время программы серии MX полностью совместимы с MS Windows и способны работать с Windows либо как самостоятельные приложения, либо в среде наиболее популярных САПР AutoCAD и MicroStation. MX в AutoCAD и MX в MicroStation привносят новые возможности в 3D-моделирование, которые обеспечиваются за счет использования последних достижений объектно-ориентированной технологии. MX-модели, созданные в одной среде, могут быть открыты и использованы без какой-либо трансляции в другой среде.

#### 4.5. Краткая характеристика программного комплекса CREDO

**САПР АД CREDO** развивается с 1989 г. в научно-производственном объединении (НПО) Кредо-Диалог (Минск). Изначально это был пакет программ по проектированию ремонта дорожных покрытий. Название этой системы проектирования сохранилось с тех времен по аббревиатуре слов: Капитальный РЕмонт Дорожных Одежд.

САПР-АД CREDO - программный комплекс, предназначенный для обработки данных инженерных изысканий, цифрового моделирования местности, проектирования автомобильных дорог. Он имеет модульную структуру и состоит из ряда подсистем и отдельных задач. Каждая подсистема комплекса CREDO участвует в едином технологическом процессе проектирования, являясь, в то же время, самостоятельным программным модулем, и может эксплуатироваться отдельно. Модульный подход к программному обеспечению позволяет формировать и поставлять оптимальные по стоимости и функциям технологические системы для различных пользователей – геодезических предприятий, крупных и мелких проектных организаций, учебных заведений и т.д.

Система автоматизированного проектирования CREDO позволяет решать следующие задачи автоматизированного проектирования транспортных сооружений:

- камеральная обработка данных инженерно-геодезических изысканий,

- подготовка данных для создания цифровой модели местности инженерного назначения,
- создание и корректировка цифровой модели местности инженерного назначения на основе данных изысканий и существующих картографических материалов,
- формирование чертежей топопланов и планшетов на основе созданной цифровой модели местности, экспорт данных по цифровой модели местности в другие системы автоматизированного проектирования и геоинформационные системы,
- обработка данных инженерно-геологических изысканий, создание и корректировка цифровой модели геологического строения площадки или полосы изысканий,
- проектирование генеральных планов объектов промышленного, гражданского и транспортного строительства,
- проектирование нового строительства, реконструкции и капитального ремонта автомобильных дорог,
- проектирование транспортных развязок.

Комплекс CREDO состоит из нескольких крупных систем и ряда дополнительных задач. Все программные продукты сертифицированы на соответствие требованиям действующих нормативных документов органом по сертификации при Госстрое РФ – ГП ЦПС. Номера сертификационных удостоверений РОСС BY.CP15.H00110, РОСС BY.CP15.H00111.

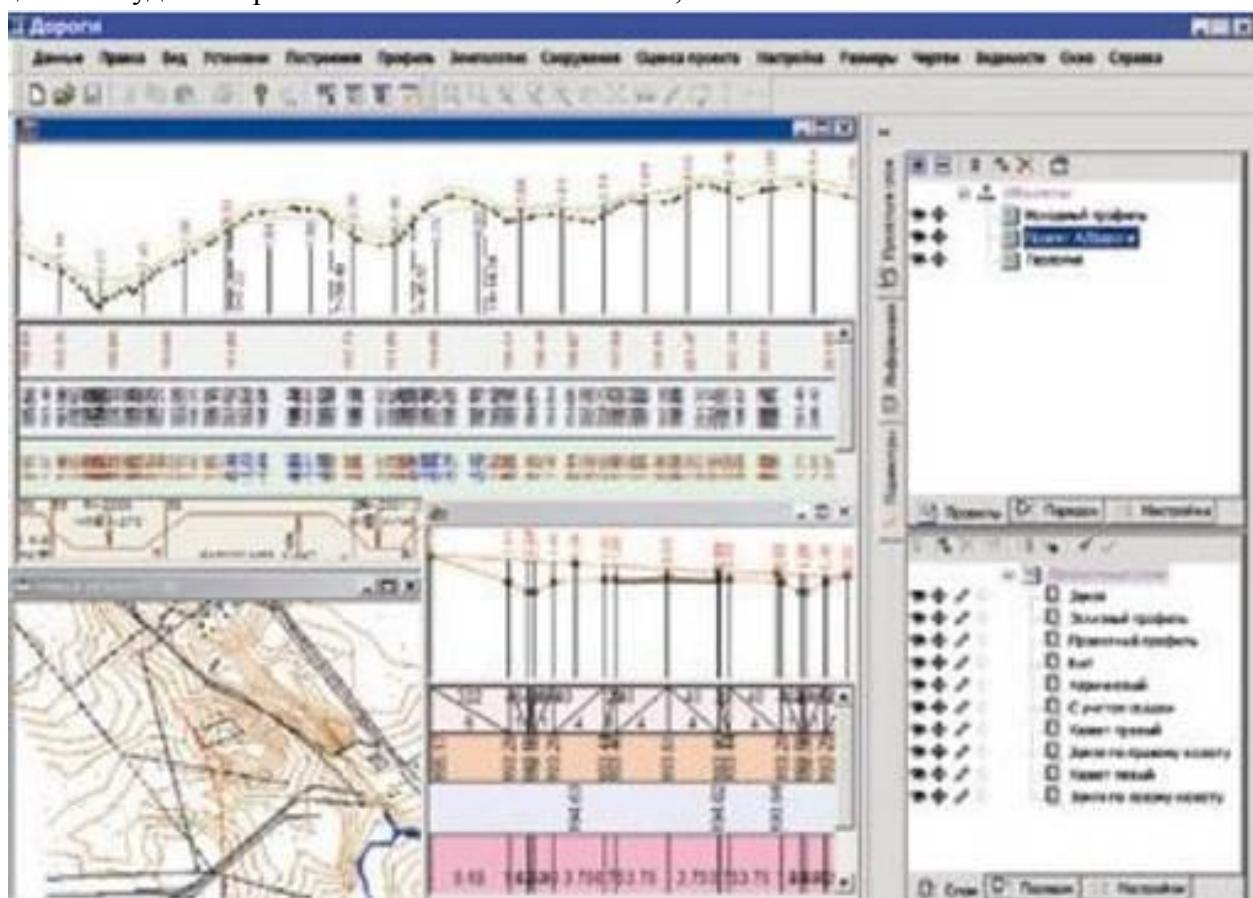


Рис. 4.7. САПР "Дороги" от НПО Кредо-Диалог

Система с самого начала была ориентирована на эксплуатацию в производственных условиях и получила широкое распространение не только в дорожных проектных организациях, но и в организациях других отраслей, занимающихся проектированием линейно-протяженных объектов (нефтегазовая, электроэнергетическая), а также при проектировании генеральных

планов в промышленном и гражданском строительстве.

В 1999 г. Кредо-Диалог приступила к разработке системы CREDO 3-го поколения под управлением ОС Windows. Однако на начало 2004 г. эта работа еще не была завершена. Ряд модулей системы, в том числе и по проектированию дорог, до сих пор существует лишь в DOS-версии, что в значительной мере ослабляет позиции этой системы на рынке программных средств.

Но вклад системы CREDO в проектирование дорог трудно переоценить, поскольку именно с этой системы во многих дорожных проектных организациях начался процесс комплексной автоматизации работ. А многие расчетные схемы и алгоритмы системы CREDO и сегодня оцениваются, как новаторские и взяты на вооружение другими разработчиками программных средств.

В состав системы CREDO 3-го поколения вошли 4 подсистемы (ТОПОПЛАН, ЛИНЕЙНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ, ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ПЛАН, ДОРОГИ) и ряд пакетов прикладных программ (проектирование индивидуальных знаков, расчет нежесткой дорожной одежды и др.).

Различные наборы программ комплекса CREDO можно использовать на разных стадиях проектирования автомобильных дорог.

### **Набор программ CREDO «Дорожно-транспортное строительство»**

Применение набора программ CREDO «Дорожно-транспортное строительство» позволяет осуществлять комплексную автоматизацию всего процесса проектирования от обработки данных линейных или площадных изысканий до получения проектной документации. Для решения задач проектирования автомобильных дорог, железных дорог и инженерных сооружений на них можно использовать следующие программы комплекса CREDO:

CREDO ДОРОГИ – Проектирование нового строительства и реконструкции загородных автомобильных дорог всех технических категорий, транспортных развязок, городских улиц и магистралей

МОСТ – Проектирование мостовых сооружений

ОТКОС – Устойчивость откосов земляного полотна

ОСАДКА – Расчет осадки насыпи на болотных грунтах

ГИДРО – Расчет водоотводных устройств

ГРИС\_С, ГРИС\_Т – Гидравлический расчет малых искусственных сооружений

ТРУБЫ – Конструирование водопропускных труб

РАДОН – Расчет дорожной одежды

МОРФОСТВОР – Расчет морфоствора

ZNAK – Проектирование индивидуальных дорожных знаков

РАБС – Расчет асфальтобетонной смеси - программа автоматизированного проектирования состава асфальтобетонной смеси.

ЖЕЛДОРПЛАН – Расчеты переустройства плана железнодорожного пути

### **Инженерно-геодезические изыскания**

Применение набора программ CREDO «Инженерно-геодезические изыскания» позволяет комплексно решать широкий спектр задач, начиная с чтения данных в форматах большинства электронных приборов до строгого уравнивания геодезических сетей и оценки их точности, выпуск чертежей топографических планов в виде листов чертежа или планшетов, продольных и поперечных профилей, получение необходимой документации.

В набор «Инженерно-геодезические изыскания» входят следующие программы комплекса CREDO:

CREDO\_DAT - Камеральная обработка инженерно-геодезических данных

**НИВЕЛИР** - Обработка геометрического нивелирования

**ТРАНСКОР** - Преобразование координат

**CREDO ТОПОПЛАН** - Создание ЦММ и выпуск топографических планов

**CREDO КОНВЕРТЕР** - Обмен данными между продуктами на платформе CREDO III и продуктами других производителей

**CREDO ЛИНЕЙНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ** - Обработка площадных и линейных инженерно-геодезических изысканий

**TRANSFORM** - Трансформация растровых материалов

### **Инженерно-геологические изыскания**

При инженерно-геологических изысканиях программные продукты CREDO позволяют создавать и корректировать объемную модель геологического строения объекта изысканий или проектирования; обрабатывать результаты лабораторных определений свойств грунтов, производить различные расчеты; выпускать чертежи инженерно-геологических колонок.

Набор «Инженерно-геологические изыскания» состоит из следующих программ комплекса CREDO:

**CREDO\_GEO** - Объемная геологическая модель

**CREDO\_GEO КОЛОНКА** - Инженерно-геологическая колонка

**CREDO\_GEO ЛАБОРАТОРИЯ** - Обработка инженерно-геологических данных

Каждая подсистема участвует в едином технологическом процессе, являясь, в то же время, самостоятельным программным модулем и может работать отдельно.

Модульный подход к программному обеспечению позволяет формировать оптимальные по стоимости и функциональным возможностям технологические системы различного назначения.

### **Технология автоматизированного проектирования в CREDO и последовательность работ**

Технология автоматизированного проектирования с использованием САПР CREDO предусматривает:

-создание цифровой модели местности для территории возможного проложения вариантов дороги;

-автоматизированное проектирование плана трассы, продольного и поперечных профилей дороги, пересечений с другими дорогами, мостов, труб и других искусственных сооружений, подсчет объемов работ, оценку проектных решений;

-автоматизацию на всех этапах проектирования расчетных, чертежно-графических и оформительских работ;

-диалоговый режим взаимодействия инженера-проектировщика с ЭВМ;

-использование методов математического моделирования (моделирование рельефа и геологического строения местности, положения дороги в пространстве, работы грунтов в основании земляного полотна, работы водопропускных сооружений, движения одиночных автомобилей и транспортных потоков и т.п.);

-использование математических методов оптимизации проектных решений (проектирование оптимального продольного профиля, расчет оптимальной конструкции дорожной одежды и др.);

-возможность проработки и корректировки на любом этапе проектирования нескольких вариантов проектных решений;

-оценку качества проектных решений по комплексу показателей: объемы и стоимость строительных работ, транспортно-эксплуатационные качества дороги, безопасность движения, уровни неблагоприятного воздействия на окружающую среду.

При автоматизированном проектировании каждого из **вариантов дороги с использованием программного комплекса CREDO** целесообразна следующая последовательность ра-

бот:

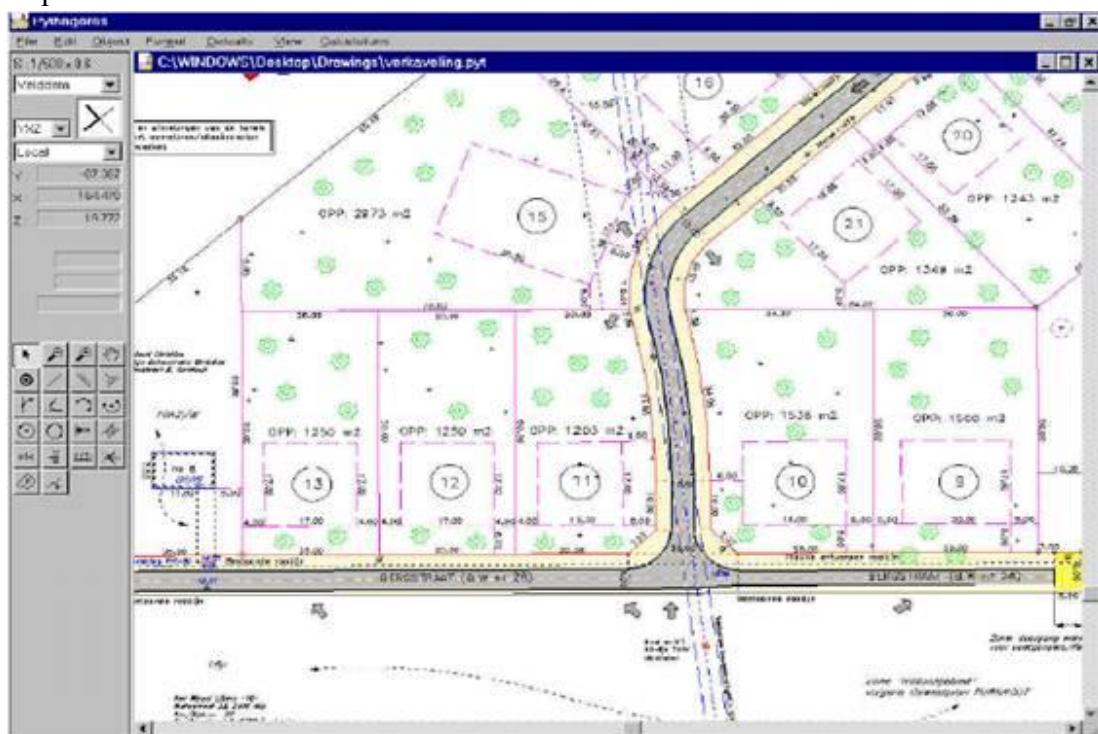
- составление цифровой модели местности;
- изготовление топографических планов;
- проектирование плана трассы;
- расчет и проектирование водопропускных сооружений;
- расчет и проектирование дорожной одежды;
- проектирование продольного профиля дороги;
- проектирование поперечных профилей дороги;
- проектирование дорожного водоотвода;
- просмотр перспективных изображений дороги;
- проектирование пересечений дорог;
- подсчет объемов работ;
- распределение земляных масс;
- оценка проектных решений;
- проектирование экологических мероприятий;
- проектирование элементов инженерного оборудования дороги;
- определение стоимости строительства;
- оформление проектной документации.

На любом из этапов проектирования возможна корректировка проектного решения, что может потребовать возвращения к предыдущим этапам.

При вариантом проектировании дороги проектное решение по каждому из них разрабатывается по приведенной выше схеме. После этого, используя полученные для каждого варианта технико-экономические, транспортно-эксплуатационные и экологические показатели, выбирают наиболее выгодный из них.

#### 4.6. Краткая характеристика программного комплекса PYTHAGORAS

Программа PYTHAGORAS была создана бельгийской фирмой ADW Software в 1992 году и названа в честь греческого математика и философа Пифагора, чья одноименная теорема положила начало базовым геодезическим принципам. PYTHAGORAS, в первую очередь, это программа для подготовки высококачественных чертежей на основе принципов координатной геометрии.



Благодаря хорошо развитому пакету обработки данных геодезии PYTHAGORAS востребован при выполнении инженерно-геодезических работ, составлению топографических и кадастровых планов, а также в дорожном проектировании и ГИС-приложениях.

Программа имеет простой и дружественный интерфейс. Рабочая область программы разделена на три основные части: окно чертежа, в котором выполняются построения; главное меню, содержащее простые и комплексные процедуры; панель управления, на которой отображается необходимая для работы информация и набор кнопок для быстрого вызова чертежных и вычислительных функций.

PYTHAGORAS обладает открытой архитектурой. Эта открытость реализуется посредством создания макросов на языке программирования VBA (VisualBasicforApplication).

К недостаткам программы можно отнести отсутствие возможности корректировать триангуляционные поверхности посредством структурных линий, что существенно снижает точность построения таких поверхностей.

Поддержку русскоязычной версии программы PYTHAGORAS осуществляет московская компания Прин.

#### 4.7. Краткая характеристика программного комплекса САПР АД GIP

САПР АД GIP является программным продуктом одного из ведущих дорожных проектных институтов – ОАО Гипродорнии и развивается с середины 70-х годов. Версия этой системы в DOS-варианте алгоритмически была хорошо проработана, но отражала в основном идеологию ручного проектирования дорог. Windows-версия системы GIP во многих аспектах отвечает современным концепциям автоматизированного проектирования (работа с ЦММ, алгоритмы оптимизации проектных процедур и пр.), но в то же время, в идеологии ее построения проектируются атавизмы предыдущих DOS-версий системы.

GIP – это комплекс специализированных программ, при помощи которых можно производить основную часть работы по проектированию автомобильных дорог. Все программы комплекса используют общие типизированные структуры данных и единые алгоритмы. В процессе работы над проектом необходимые программы запускаются с помощью меню и подменю.



Рис. 4.9. Рабочее окно "Редактор генплана" системы GIP

Все данные, используемые программами комплекса, хранятся в файлах с предопределенными именами. Каждый проект состоит из набора файлов, которые размещаются в отдельной папке, соответствующей проекту.

Если GIP установлен на компьютерах, объединенных в локальную сеть, то несколько проектировщиков могут работать над одним и тем же проектом, в результате чего сокращается время его разработки.

Все рабочие параметры GIP (имя текущего проекта, размер и положение окон, элементы пользовательского интерфейса, имена рабочих папок и т.д.) хранятся в системном реестре. Это позволяет каждому пользователю при работе в ОС Windows создавать индивидуальную пользовательскую конфигурацию системы, т. е. проектировщик, запуская GIP на любом компьютере сети, будет иметь доступ только к своим проектам и будет изменять только свои настройки. Такой подход исключает взаимное влияние пользователей системы друг на друга и имеет первостепенное значение при установке GIP на компьютерах, объединенных в локальную сеть.

GIP работает с трехмерными структурами данных (за исключением некоторых характерных плоских кривых). Плоское изображение на экране является лишь проекцией линий, образующих трехмерные поверхности или сечения этих поверхностей плоскостями.

GIP поддерживает многовариантное проектирование и имеет ряд функций для создания, выбора и удаления вариантов. Создавать варианты можно двумя способами:

- используя механизм наследования данных;
- в любой момент работы над проектом.

Большинство структур данных GIP стандартизировано, что облегчает работу с ними и обеспечивает дополнительную гибкость при применении нетиповых (не предусмотренных изначально) проектных решений. По существу, GIP имеет ряд стандартных элементов данных и инструментов для работы с ними (редакторов). Ознакомившись с возможностями программного комплекса, Вы сможете самостоятельно, используя стандартные элементы и редакторы, расширить границы применения GIP для решения индивидуальных задач.

Программы комплекса объединены в блоки, каждый из которых решает одну из основных задач проектирования автомобильных дорог. Ниже приведен перечень этих блоков.

Менеджер проектов – программный блок, обеспечивающий создание, выбор и удаление проектов и вариантов, конфигурирование системы и запуск других программ комплекса.

Редактор исходных данных – программный блок, обеспечивающий редактирование любых таблиц GIP, хранящихся в dbf-файлах.

Редактор поверхностей – программный блок, обеспечивающий создание и редактирование ЦММ и других элементов, представляющих собою поверхности. Основные функции блока – триангуляция между заданными точками поверхности с учетом структурных линий и назначение семантических кодов элементам поверхности.

Редактор плана трассы – программный блок, обеспечивающий проектирование горизонтального положения оси трассы и вписывание горизонтальных кривых.

Формирование черных профилей – программный блок, обеспечивающий создание черных продольных и поперечных профилей на основании ММП местности и плана трассы.

Редактор продольного профиля – программный блок, обеспечивающий автоматическое проектирование продольного профиля трассы и возможность корректировки профиля вручную.

Редактор параметров верха земляного полотна – программный блок, обеспечивающий назначение параметров верха земляного полотна (ширин и уклонов проезжей части, обочин и разделительной полосы) и последующее автоматическое создание верха земляного полотна.

Редактор откосов и кюветов – программный блок, обеспечивающий проектирование по-

перечных профилей земляного полотна (откосов, кюветов).

Проектная поверхность и объемы земляных работ – программный блок, обеспечивающий создание проектной поверхности земляного полотна, вычерчивание проектных поперечников и расчет объемов земляных работ.

Редактор генерального плана – программный блок, обеспечивающий редактирование ситуации и сборку генерального плана объектов проектирования.

#### 4.8 САПР автомобильных дорог - перспективы и развития

Автоматизация проектирования автомобильных дорог ведёт свою историю развития с 60-х годов прошлого столетия. К этому периоду времени относятся первые работы Хавкина К.А. и Дащевского Л.Н. по автоматизированному проектированию продольного профиля [1]. Чуть позже идею проектирования продольного профиля посредством ЭВМ на основе теории оптимизации развили Фильштейн Е.Л. и Струченков В.И. В 70-е и начале 80-х первые идеи по автоматизированному проектированию плана трассы, транспортных развязок и расчётов мостовых переходов были реализованы Григорьевым А.М., Федотовым В.А. и Федотовым Г.А. [2].

С конца 70-х годов на кафедре «Изысканий и проектирования автомобильных дорог» МАДИ приступили к разработке САПР автомобильных дорог для учебных и исследовательских целей. Руководили этим процессом безусловные энтузиасты своего дела Голубин В.Ю. и Гольбиндер Г.Г. Компьютерный класс кафедры был оснащён современнейшими на тот момент ЭВМ: СМ-1420 (рис. 1) со встроенной оперативной памятью ёмкостью 248 КБ! Именно МАДИйские разработки того времени легли в основу созданных позднее профессиональных САПР АД, ныне известных, как CREDO Дороги и IndorCAD/Road.

Системная автоматизация проектных работ началась с Постановления ЦК КПСС и СМ СССР от 30.02.1981 года «О мерах по дальнейшему улучшению проектно-сметного дела», которое дало старт САПР во всех отраслях материального производства, в том числе и на основе передового зарубежного опыта. Первая САПР АД на базе ЕС ЭВМ-1022 была запущена в проектном институте «Союздорпроект» Минтрансстроя СССР в 1982 году. И спустя 30 лет ОАО «Союздорпроект» в возрождённом состоянии с историей проектной деятельности, заслуживающей как уважения, так и изучения «в назидание потомкам» (В. Мономах), остаётся одним из ведущих институтов отрасли.

Сегодня доминирующими САПР автомобильных дорог в дорожных проектных организациях РФ являются 4 системы: CREDO Дороги (Кредо- Диалог, г. Минск), IndorCAD/Road (ИндорСофт, г. Томск), Топоматик Robur-Автомобильные дороги (Топоматик, г. Санкт-Петербург), AutoCAD Civil 3D (Autodesk, USA). Все вышеперечисленные

САПР обладают необходимым функционалом для подготовки полного цикла проектной документации: от обработки материалов изысканий до подготовки чертежей. Не вдаваясь в разбор недостатков и достоинств каждой из этих систем и, тем более, не занимаясь их сравнительным анализом, попытаемся спрогнозировать их дальнейшее развитие на ближайшую перспективу.



Рис. 4.10. Знаменитая ЭВМ отечественного производства СМ-1420 в МАДИ

Существует, по крайней мере, 4 вызова текущего времени, на которые САПР АД готовит ответы.

### **Вызов 1 — быстрое трассирование дорог**

До сих пор проектная трасса дороги в плане и продольном профиле формируется на основе гладкой сопряжки плоских геометрических элементов: отрезки прямых, круговых кривых, клоноид, парабол и др. Алгоритмы такой сопряжки элементов при трассировании разнообразны, но в любом случае - это длительная и кропотливая работа. В то же время в прикладной математике разработано многообразие сплайновых функций (в первую очередь кривых Безье), которые позволяют организовывать этот процесс быстрее и эффективнее.

Необходимость быстрого трассирования вызвана спецификой сегодняшней организации проектной деятельности, регламентируемой Градостроительным кодексом. Если ранее существовал предпроектный этап работ - ТЭО (позднее ОИ), где была возможность рассмотреть и оценить все возможные варианты будущих проектных решений, то сегодня это возможно отчасти на стадии проекта планировки, а отчасти непосредственно при разработке проектной документации. Но здесь уже не выделяется отдельное время на вариантное трассирование, а значит и делать это трассирование надо «на лету».

Инструменты для быстрого (эскизного) трассирования дорог уже предлагаются рядом разработчиков: KorFin (A+S Consult GmbH), InfraWorks (Autodesk), Quantm (Trimble). Все эти подсистемы основаны на аппарате трассирования посредством пространственных кривых Безье и позволяют в той или иной мере оценить объемы будущих работ, спланировать предварительный бюджет и рабочий график реализации проекта. Аналогичные инструменты появляются и у отечественных САПР автомобильных дорог.

### **Вызов 2 — работа с ДЗЗ**

Под данными Дистанционного Зондирования Земли будем понимать фото с космо- и аэро-летательных аппаратов. Значительный прорыв в применении космосъемки для самых различных сфер человеческой деятельности произошел в последнее время благодаря 2 фактам: снижению требований секретности по отношению к материалам космосъемки и активной позиции одного из отечественных лидеров по распространению материалов космосъемки — компании Сканэкс. На конференции «Земля из космоса — наиболее эффективные решения», прошедшей 1-3 октября 2013 г. и организатором которой являлся Сканэкс, были представлены 3 доклада (Autodesk, Кредо-Диалог и ИндорСофт) по созданным инструментам в рамках САПР АД, позволяющим широко работать именно с материалами космосъемки.

Ещё большее многообразие возможностей для применения в САПР автомобильных дорог предоставляет фото с аэро-летательных аппаратов, к которым относятся как традиционные самолёты и вертолёты, так и сверхлёгкие летательные аппараты (СЛА — дельталёты, автожиры) и беспилотные летательные аппараты (БЛА — самолёты, вертолёты, гексалёты (рис. 4.11)).

За последние годы серьёзно усовершенствовались и алгоритмы обработки аэрофотосъемки. Наряду с традиционными методами фотограмметрии, основанными на распознавании координат точек по стереопарным снимкам, применяются алгоритмы распознавания на основе последовательности снимков. Заслуживает особого внимания разработка Photoscan питерской компании AgiSoft, которая позволяет создавать ортофотопланы и ЦММ на основе именно последовательности снимков. Данное программное обеспечение совместно с программно-техническим комплексом GeoScan уже опробовалось при проектировании дорожных объектов в Томской области.

### **Вызов 3 — работа с большими массивами ЦММ**

Такая проблема возникла в связи с бурным развитием технологий воздушного и наземного лазерного сканирования. Для линейно-протяжённых объектов наиболее целесообразным методом является мобильное лазерное сканирование. Современные лаборатории мобильного лазерного сканирования способны формировать «облака точек» размерностью сотни миллионов на погонный километр дороги. Это и хорошо, и плохо. Хорошо то, что создаётся высочайшей точности SD-модель дороги, по которой можно вычислять продольную и поперечную ровность покрытия, распознавать дефекты, рассчитывать линейные, площадные и объёмные параметры. Плохо то, что память компьютеров не бесконечна и при построении поверхностей для целей проектирования необходимы специальные алгоритмы генерализации. Такие алгоритмы могут строиться и на основе теории вейвлетов, и на основе триангуляции Делоне (политриангуляции). Существуют и другие подходы к решению проблемы обработки больших массивов точек поверхности, полученных посредством лазерного сканирования. На сегодня уже созданы необходимые инструменты в составе САПР автомобильных дорог и осуществляется их апробация и совершенствование в режиме пилотных проектов.

### **Вызов 4 — оценка проектных решений на основе моделирования транспортных потоков**

Существующие методы оценки проектных решений (методы коэффициентов аварийности, безопасности и др.) основаны на применении эмпирических формул, выведенных из наблюдения и установления закономерностей движения автомобилей по участкам дорог с различными геометрическими и транспортно-эксплуатационными параметрами. В то же время надо понимать, что наиболее адекватной оценкой проектных решений могли бы быть сами результаты имитационного моделирования транспортных потоков на проектируемых участках автомобильных дорог. Теоретические основы этих процессов давно разработаны, однако практическое воплощение их в действующих САПР АД ещё на начальной стадии.

Когда мы говорим об имитационном моделировании, речь идёт, по крайней мере, о трёх задачах, связанных с оценкой проектных решений. Первая - какой «динамический коридор» занимает тот или иной расчётный автомобиль при совершении манёвров движения на различных участках дороги? Какие «конфликтные ситуации» возникают при движении конкретного транспортного потока на конкретном проектном участке дороги? Как воспринимается водителем движущегося автомобиля запроектированная дорога с позиции видимости, плавности и ясности.

Все три вышеперечисленные задачи требуют воплощения на SD-модели проектируемой автомобильной дороги. Есть ещё одна задача, также требующая воплощения на основе 3D-моделирования. Это задача поддержки жизненного цикла (ЖЦ) на основе Информационного Моделирования Дорог (ИМД).



Рис. 4.11. Беспилотный летательный аппарат - гексалёт

Учитывая то, что автомобильные дороги являются объектами строительства (ОС), для них, возможно, подходящей методологией поддержки ЖЦ может быть BIM (Building Information Modeling). Именно BIM в последнее время широко обсуждается и стремительно развивается во многих странах мира, становясь элементом государственной политики в области регулирования процессов в строительной сфере (США, Голландия, Германия, Китай и др.).

С другой стороны, брать полностью BIM в качестве основы поддержки ЖЦ дорог не совсем целесообразно, поскольку специфика автомобильных дорог, как линейно-протяжённых объектов, существенно отличается от других ОС, таких, как промышленные и гражданские здания. Здесь, очевидно, необходим синтез инженерных идей и адаптация их к нашим организационно-технологическим реалиям.

ИМД призвано функционировать (создаваться, актуализироваться, корректироваться) на всех стадиях ЖЦ дороги. Таких стадий нами выделено три: проектирование, строительство и эксплуатация. Каждая из стадий сопровождается определёнными процессами.

Сформулируем и рассмотрим лишь те процессы, которые носят инженерный (инженеринговый) характер. То, что слова «инженерный» и «инженеринговый» мы соотносим и как синонимы, и как обозначающие нечто разное, требует пояснения.

Ограничимся определением «инженерный» как деятельность в сфере материального производства, носящая творческий характер. В то же время, если аспекты этой деятельности выступают не в виде исполнения должностных обязанностей, а как договорная услуга, то это принято называть «инженерингом». Поскольку формирование ИМД в ЖЦ дорог затрагивает в организационном и методическом аспекте практически все инженерные процессы на дорогах, то на этой стадии (стадии становления) целесообразно говорить об инженеринговом формате деятельности.

На рис. 4.12 представлено в графическом виде ИМД, как ядро информационной системы, стадии ЖЦ дороги и сопутствующие им процессы.



Рис. 4.12. ИМД в графическом виде, стадии ЖЦ дороги и сопутствующие им процессы.

Есть ли будущее у отечественных САПР автомобильных дорог? Ответ будет состоять из двух частей.

### **Первая**

У отечественных САПР АД есть, по крайней мере, настоящее. Это связано и с традициями отечественной (советской) школы проектирования, и с действующими стандартами ЕСКД/СПДС, которые существенно отличаются от зарубежных стандартов. В силу этого зарубежные САПР автомобильных дорог с трудом проходят локализацию для российского рынка дорожного проектирования, что создает некоторые временные преференции отечественным разработчикам. Но в силу требований ВТО и дальнейшей гармонизации нашей нормативной базы с международными стандартами это преимущество будет нивелироваться.

### **Вторая**

Есть сдержанный оптимизм по поводу будущего отечественных САПР АД. Но для этого надо научиться конкурировать на зарубежных рынках и такое понимание у отечественных разработчиков есть. Важна также роль государства: должна ли развиваться отечественная школа исследований методов и алгоритмов проектирования, моделирования движения автомобилей и транспортных потоков? Не будет учёных-исследователей, не будет основы для высшего образования, не будет качественных и безопасных дорог. Выбор за нами.

## **ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ**

1. Привести краткий обзор программного комплекса САПР АД PLATEIA
2. Привести краткий обзор программного комплекса PYTHAGORAS
3. Привести краткий обзор программного комплекса САПР АД MXRoad
4. Привести краткий обзор программного комплекса САПР АД CREDO. решать следующие  
Какие задачи автоматизированного проектирования транспортных сооружений позволяет решать
5. Привести краткий обзор программного комплекса САПР АД Robur
6. Привести краткий обзор программного комплекса САПР АД IndorCAD/Road
7. Краткая характеристика программного комплекса САПР АД GIP
8. Какие существует вызовы текущего времени, на которые САПР АД должна готовить ответы.

## ТЕХНОЛОГИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

1. Факторы, влияющие на технологию автоматизированного проектирования автомобильных дорог
2. Учет влияния изменений компонентов обеспечения САПР АД на ее технологию ...
3. Общие черты технологии автоматизированного проектирования, присущие всем известным САПР-АД.
4. Технология автоматизированного проектирования для разных стадий проектирования автомобильных дорог
5. ГИС-технологии в изысканиях автомобильных дорог
6. Методы обоснования полосы варьирования конкурирующих вариантов трассы ...

### **5.1. Факторы, влияющие на технологию автоматизированного проектирования автомобильных дорог**

Технология автоматизированного проектирования автомобильных дорог представляет собой совокупность правил, определяющих действия инженерно-технического персонала по высококачественному решению проектной проблемы в фиксированные сроки и с минимальными затратами при комплексном использовании всех компонентов САПР АД. Та или иная технология, принимаемая при проектировании автомобильных дорог, определяется большим количеством факторов, главные из которых следующие:

- **стадия проектирования.** Технология выполнения проектных работ, степень детализации проектных проработок, круг задач, решаемых при проектировании и т.д., в значительной степени зависят от стадии проектирования (технико-экономическое обоснование - ТЭО или для относительно несложных объектов проектирования технико-экономические расчеты - ТЭР, проект - П, рабочая документация - РД или рабочий проект - РП);

Архитектурный проект "А"(проект) - проектная документация, обеспечивающая представление о материальном образе объекта среды обитания, его размещении, физических параметрах и художественно-эстетических качествах и содержащая технико-экономические показатели объекта, утверждаемая стадия (при двухстадийном проектировании).

Эскизное решение "АЭ"— этап, включаемый в состав архитектурного проекта.

Утверждаемая архитектурная часть строительного проекта «АС» (утверждаемая часть рабочего проекта) - выделяемая при одностадийном проектировании часть строительного проекта (рабочего проекта), подлежащая утверждению.

Строительный проект «С» - проектная документация, разработанная на основе утвержденных архитектурного и градостроительного проектов, а также проведенных инженерных изысканий и результатов научно-технических исследований, обеспечивающая непосредственную реализацию инвестиций в строительство объектов. При двухстадийном проектировании - вторая стадия (рабочая документация), при одностадийном (Архитектурный проект и Строительный проект) - включает также утверждаемую архитектурную часть "АС".

Тендерная документация - комплект документов, содержащих исходную информацию о технических, коммерческих, организационных и иных характеристиках предмета торгов, а также об условиях и процедуре проведения торгов.

При разработке проектной документации следует руководствоваться законодательными и нормативными актами РФ, действующими строительными нормами, иными документами, регулирующими инвестиционную деятельность.

Проектная документация включается в состав тендерной документации в соответствии с

Положением о порядке организации и проведения подрядных торгов (тендеров) в строительстве на территории РФ.

Разработку проектной документации на строительство объектов следует осуществлять, как правило, в две стадии. При двух стадийном проектировании в состав проектной документации входят: архитектурный проект "А" — первая (утверждаемая) стадия, и строительный проект "С" — вторая стадия разработки проектной документации.

На основании утвержденного в установленном порядке архитектурного проекта разрабатывается строительный проект, осуществляется отвод земельного участка под строительство объекта с выдачей государственного акта на право пользования землей и открывается финансирование строительства. Разработка строительного проекта с отступлением от утвержденного архитектурного проекта подлежит обязательному согласованию с автором архитектурного проекта и утвердившим проект органом.

**- категория проектируемой дороги.** С категорией дороги связаны параметры плана и продольного профиля, размеры земляного полотна, конструкция и капиталоемкость дорожных одежд и искусственных сооружений, требования по обеспечению уровней удобства и безопасности движения, требования по охране окружающей среды и решение других экологических проблем. Технология проектирования в связи с этим в известной мере видоизменяется для автомобильных дорог различных категорий;

**- административно-хозяйственное значение проектируемой дороги.** Автомобильные дороги различного административно-хозяйственного значения (дороги общегосударственного, республиканского, областного, районного значения, курортные дороги, подъездные пути, городские и сельскохозяйственные дороги) имеют свои специфические особенности, что находит отражение в методах и технологии их проектирования;

**природные условия района проектирования автомобильной дороги.** На те или иные принципиальные решения, принимаемые при проектировании автомобильных дорог, оказывает влияние дорожно-климатическая зона, в пределах которой изыскивается и проектируется дорога (I-зона распространения вечномерзлых грунтов; II-зона избыточного увлажнения; III-зона умеренного увлажнения; IV - зона недостаточного увлажнения; V - засушливая зона) и тип местности по увлажнению (1 - сухие места, 2- сырье места, 3 - мокрые места), нормируемые Строительными нормами и правилами. Категория рельефа (равнинный, холмистый, пересеченный и горный) оказывает исключительное влияние на принимаемые инженерные решения. Свои специфические особенности имеет проектирование автомобильных дорог в сложных природных условиях: в районах распространения вечномерзлых грунтов, на болотах, в местах с интенсивными эрозионными процессами, в закарстованных районах, в горной местности, в пустынных и засушливых районах. Все эти особенности предъявляют свои требования к используемым методам и технологии проектирования;

**вид, качество и объем и форму представления исходной изыскательской информации** для проектирования (материалы тахеометрических и наземных фототеодолитных съемок, материалы аэроизысканий, материалы инженерно-геологических и инженерно-гидрологических обследований и т. д.). Проекты автомобильных дорог всегда характеризуются чрезвычайно неоднородной по составу, качеству и объему обосновывающей исходной изыскательской информацией, что в конечном итоге определяет различия в технологии проектирования, прежде всего на начальных его этапах при создании цифровых моделей рельефа местности и геологического ее строения (ЦММ);

**вид проектируемого объекта и его размеры (протяженность).** Круг решаемых проектных задач, а также их этапная последовательность оказываются несколько различными при

проектировании новой автомобильной дороги, при разработке проекта реконструкции существующей дороги, при разработке проекта титульного мостового" перехода и т. д.;

- особенности трассирования дороги (проложение по новому направлению или использование существующей дороги);
- экологические особенности района проложения дороги.

## **5.2 Учет влияния изменений компонентов обеспечения САПР АД на ее технологию**

На технологию проектирования влияет также состояние средств обеспечения САПР-АД на момент разработки проекта. Изменение каждого из пяти компонентов САПР АД (методического, программного, информационного, технического и организационного), как правило, в значительной степени предопределяет изменение технологии автоматизированного проектирования автомобильных дорог.

Так, разработка новых методов проектирования плана, продольного профиля автомобильных дорог, дорожных одежд, методов расчета стока, а также генеральных размеров малых искусственных сооружений и мостовых переходов, методов проектирования развязок движения, включение новых критериев оценки проектных решений и. т. д. определяют изменение компонентов методического и прикладного программного обеспечения и, как следствие, немедленное изменение технологии автоматизированного проектирования.

Изменение общесистемного программного обеспечения САПР-АД, например, переход от проектирования на уровне дисковых операционных систем (ДОС) на уровень операционных систем (ОС), предусматривает основательную ломку технологии проектирования.

Изменение технического обеспечения САПР-АД находит немедленное отражение в технологии автоматизированного проектирования. Так, обеспечение проектных организаций дигитайзерами, стекометрами и стереокомпараторми с автоматическими регистрирующими приставками резко меняет технологию подготовки ЦММ - этого одного из наиболее ответственных этапов проектирования, во многом определяющего качество конечной продукции. Расширение комплекса технических средств САПР-АД за счет высокопроизводительных планшетных и рулонных графопостроителей в корне меняет технологию подготовки и оформления проектно-сметной документации. Включение в комплекс технических средств САПР-АД необходимого количества дисплеев резко увеличивает возможности инженера-проектировщика в части высокоеффективного проектирования в режиме диалога с ЭВМ.

Организационная структура средств технического обеспечения САПР АД может определить технологию автоматизированного проектирования как наименее совершенную из возможных при базовом варианте использования средств вычислительной техники, так и наиболее эффективную при создании сети проектно-вычислительных центров коллективного пользования - ПВЦ КП.

Организационная структура конкретной САПР АД во многом предопределяет ту или иную технологию автоматизированного проектирования для различных этапов ее развития.

Программный комплекс CREDO может быть использован на любой стадии проектирования независимо от категории дороги и особенностей района проектирования. Однако следует учитывать ограничения, связанные с протяженностью дороги: количество точек продольного профиля не должно превышать 500; количество углов поворота в плане - 30. При превышении этих значений дорогу приходится разбивать на отдельные участки, отвечающие приведенным выше условиям.

### **5.3. Общие черты технологии автоматизированного проектирования, присущие всем известным САПР-АД**

Таким образом, технология автоматизированного проектирования автомобильных дорог в каждом конкретном случае определяется множеством разнообразных факторов. Однако есть и общие черты технологии автоматизированного проектирования, присущие всем известным САПР-АД, которые резко отличают ее от технологии неавтоматизированного проектирования. Это, прежде всего:

- комплексная автоматизация сбора, обработки и регистрации исходной изыскательской информации и представление ее в виде ЦММ на полосу варьирования конкурирующих вариантов трассы автомобильной дороги;
- автоматизированное проектирование с использованием ЦММ (получение продольных и поперечных профилей земли, геологических разрезов, проектирование продольного профиля, земляного полотна, дорожных одежд, искусственных сооружений, транспортных развязок движения, подсчет объемов работ и т. д.);
- системное использование средств вычислительной техники, при котором весь многообразный комплекс технических средств САПР-АД увязан в единую технологическую структуру;
- автоматизация всех основных этапов проектирования автомобильных дорог (план, продольный профиль, земляное полотно, дорожная одежда, искусственные сооружения, система дорожного водоотвода, транспортные развязки, оценка проектных решений);
- взаимодействие инженера-проектировщика при решении сложных проектных проблем с ЭВМ в режиме диалога;
- четкая этапность выполнения основных проектных операций (продольный профиль может быть запроектирован лишь после подготовки ЦММ и МММ и решения плана трассы по данному варианту, оценка проектного решения может быть выполнена в полном объеме после разработки проекта варианта и т. д.);
- использование методов математического моделирования (моделирование рельефа и геологического строения местности, моделирование полотна автомобильной дороги в трехмерном пространстве, моделирование транспортных потоков, моделирование работы малых искусственных сооружений, мостовых переходов и т. д.);
- использование математических методов оптимизации проектных решений (проектирование оптимального продольного профиля автомобильных дорог, дорожных одежд, искусственных сооружений и т. д.);
- многовариантная проработка тех элементов проектируемых дорог, для которых пока не представляется возможным записать функцию цели с последующим аналитическим поиском ее экстремума. Это в первую очередь касается плана автомобильных дорог;
- всесторонняя, глубокая оценка проектных решений по многим критериям (объемы работ, строительная стоимость, транспортно-эксплуатационные расходы, приведенные затраты, стоимость отвода земель, затраты на зимнее содержание дороги, обеспечение видимости, обеспечение зрительной плавности трассы и вписывания ее в ландшафт, время сообщения, уровни удобства и безопасность движения, пропускная способность, степень загрязнения окружающей среды и т. д.);
- автоматизация процесса подготовки чертежей, оформления и размножения проектно-сметной документации.

## **5.4 Технология автоматизированного проектирования для разных стадий проектирования автомобильных дорог**

Технология автоматизированного проектирования имеет различия для разных стадий проектирования автомобильных дорог. В РФ принята следующая схема проектирования: технико-экономическое обоснование (ТЭО); детальное проектирование — проект (П); рабочее (предпостроенное) проектирование - рабочая документация(РД)

В зависимости от сроков и сложности проектируемой автомобильной дороги число проектных стадий может быть сокращено. Например, для относительно несложных объектов допускается объединение в одну стадию проектирования и составления рабочей документации. Такую стадию называют рабочим проектом (РП).

Проектирование автомобильных дорог на разных стадиях различается кругом решаемых экономических и проектных проблем; составом, объемом и точностью исходной изыскательской информации; степенью детализации проектных проработок и их оценки по основным показателям; шириной полосы поиска оптимального варианта автомобильной дороги и, наконец, конечной целью проектирования.

Характерными особенностями проектирования автомобильных дорог на разных стадиях являются постепенное сужение полосы поиска оптимального варианта трассы, возрастание точности исходного изыскательского материала (увеличение масштабов топографических планов, детализации ЦММ и т. д.) и возрастание степени детализации проектных проработок.

*Размещения и развития отрасли народного хозяйства (СПРО)* это предпроектная проблемная стадия, в результате разработки которой решают проблему размещения транспортной сети экономического региона.

В задачи СПРО входит решение следующих проблем: анализ существующего состояния сети автомобильных дорог в перерасчете на начальный год долгосрочного перспективного периода;

разработка основных направлений развития сети автомобильных дорог на долгосрочную перспективу;

решение вопроса о соответствии обследованной сети дорог современному и перспективному размещению производственных мощностей региона;

определение оптимальной, с народнохозяйственной точки зрения, автотранспортной сети региона (с составлением схемы сети) и ее основных технико-экономических показателей во взаимосвязи с другими видами транспорта;

уточнение административно-хозяйственной классификации существующей и перспективной сети автомобильных дорог;

обоснование очередности строительства новых автомобильных дорог и реконструкции существующих;

технико-экономические расчеты для строительства и реконструкции автомобильных дорог первой пятилетки долгосрочной перспективы.

Наилучших результатов при разработке СПРО достигают при использовании метода и программ для ЭВМ проектирования оптимальной сети автомобильных дорог, разработанных Я. В. Хомяком.

Конечной целью СПРО в части автотранспортного строительства является обоснование перспектив развития сети автомобильных дорог района для планирования проектно-изыскательских работ и капитального строительства.'

*Технико-экономическое обоснование (ТЭО)* — это одна из наиболее важных проблемных

стадий проектирования, в рамках которой решают следующие задачи:

выбор оптимального, стратегического направления трассы будущей дороги в части наилучшего обеспечения существующих и перспективных транспортных связей;

определение проектной мощности проектируемой автомобильной дороги (категория, число полос движения, требуемый модуль упругости дорожной одежды и т.д.);

обоснование принципиальных инженерных решений со степенью детализации, достаточной для оценки сметной стоимости строительства по укрупненным показателям (план трассы, продольный профиль, земляное полотно, дорожная одежда, искусственные и специальные инженерные сооружения, транспортные развязки, обстановка и принадлежности дороги, здания и сооружения дорожной и автотранспортной служб);

решение вопроса этапности строительства и очередности капиталовложений;

определение сметной стоимости строительства, приведенных затрат и коэффициента народнохозяйственной эффективности капиталовложений.

Конечной целью ТЭО является подтверждение экономической целесообразности и хозяйственной необходимости строительства или реконструкции автомобильных дорог, титульных мостовых переходов, путепроводов и других сооружений на автомобильных дорогах.

Несмотря на то, что ТЭО является предпроектной стадией, именно на этом этапе проектирования определяются наилучшее стратегическое направление трассы и стоимость строительства, которая на последующих стадиях детального проектирования не может корректироваться в сторону увеличения. Это важное обстоятельство заставляет на этой стадии прорабатывать принципиальные инженерные решения, и использование САПР-АД на этом этапе проектирования необходимо и оправдано.

Проектирование на уровне САПРАД на стадии ТЭО имеет свои особенности. Прежде всего на этом этапе рассматриваются принципиальные стратегические направления конкурирующих вариантов трассы, расстояние в поперечном направлении между которыми может быть столь значительным, что подготовка изыскательской информации на общую полосу варьирования оказывается нецелесообразной. В связи с этим для каждого стратегического направления обосновывается своя полоса варьирования. Масштабы топографических планов (и соответствующая детализация ЦММ), по которым осуществляется поиск наивыгоднейшего направления трассы на стадии ТЭО, принимают М 1:10000 — 1:5000.

*Проект (П)* - детальная стадия; он разрабатывается в соответствии с утвержденным ТЭО и призван решать следующие задачи:

обоснование технической возможности строительства автомобильной дороги по рекомендованному в ТЭО стратегическому направлению на основе данных детальных топогеодезических, инженерно-геологических и инженерно-гидрологических обследований;

окончательное решение плана трассы автомобильной дороги. Наилучший вариант плана трассы изыскивают на полосе варьирования по стратегическому направлению, обоснованному в ТЭО. При этом в пределах этой полосы может быть рассмотрено большое количество вариантов и подвариантов трассы с сопоставлением их по всем основным показателям (объемы работ, стоимость строительства, суммарные приведенные затраты, обеспечение зрительной плавности трассы и вписывания ее в окружающий ландшафт, уровни удобства и безопасность движения, экологические аспекты и т. д.) и обоснованием наилучшего решения;

детальное проектирование основных элементов автомобильной дороги с подсчетом объемов работ и составлением подробных сметно-финансовых расчетов;

окончательное установление источников снабжения строительства дорожно-строительными материалами, конструкциями, электроэнергией и водой;

составление проекта организации, решение сроков и этапности строительства; решение вопросов охраны окружающей среды; определение сметной стоимости строительства и уточнение народно-хозяйственного коэффициента эффективности капиталовложений.

На стадии П автоматизированное проектирование на уровне САПР- АД с широким обеспечением режима диалога инженера-проектировщика с ЭВМ должно быть обеспечено в полной мере (рис. 2.11).

Разработке П предшествуют подробные технические изыскания (с использованием и наземных методов сбора информации) на обоснованной полосе варьирования трассы по стратегическому направлению, рекомендованному вТЭО. Масштабы планов (с соответствующей степенью детализации ЦММ) при составлении проекта принимают М 1:5000—1:1000.

*Рабочая документация* (РД) -предпостроечная стадия, разрабатываемая в соответствии с утвержденным проектом П на основе данных детальных топогеодезических, инженерно-геологических и инженерно-гидрологических обследований, призвана решать следующие проектные задачи:

уточнение положения клоидной трассы на отдельных сложных участках с последующей окончательной увязкой ее элементов и расчетами для выноса ее в натуру от произвольного магистрального хода;

корректировка положения проектной линии продольного профиля с детальной увязкой сочетания элементов плана и профиля, обеспечением видимости и зрительной плавности дорожного полотна, согласованием элементов автомобильной дороги с окружающим ландшафтом, обеспечением приемлемых уровней удобства и безопасности движения;

разработка детального проекта земляного полотна и распределения земляных масс, дорожной одежды; детальный расчет выбранных на стадии П вариантов транспортных развязок с представлением всех элементов в плане и профиле в виде разбивочных чертежей для выноса проекта в натуру, разработка проекта вертикальной планировки участков ответвлений и примыканий, соединительных рамп, подсчет "объемов работ;

вынос и закрепление трассы автомобильной дороги и инженерных сооружений в натуру;

применение САПР-АД на стадии РД также чрезвычайно эффективно в связи с тем, что и на этой стадии сохраняются принципы многовариантной детальной проработки различных элементов автомобильных дорог, в связи с необходимостью выполнения громадного объема вычислительных работ для составления разбивочных чертежей и ведомостей данных для выноса трассы автомобильной дороги и искусственных сооружений в натуру и, наконец, в связи с необходимостью выполнения больших объемов чертежно-графических работ по подготовке многочисленных конструктивных чертежей.

Разработке РД предшествуют детальные, большей частью наземные, топогеодезические, инженерно-геологические и инженерно-гидрологические работы на сравнительно узкой полосе вдоль наилучшего варианта трассы, основанного в проекте (П). Масштаб планов (с соответствующей степенью детализации ЦММ) принимают М 1:2000 — 1:500 и крупнее.

На каждой стадии проектирования с разной степенью детализации выполняют согласования основных проектных решений с заказчиком, подрядной строительной организацией, землепользователями и другими многочисленными заинтересованными организациями, ведомствами и министерствами. Согласования - весьма трудоемкий и длительный процесс. В связи с этим на уровне развитой сети проектно-вычислительных центров коллективного пользования (ПВЦ КП) весьма перспективной является автоматизация согласований проектов с заинтересованными и утверждающими инстанциями.

## **5.5. ГИС-технологии в изысканиях автомобильных дорог**

Геоинформационной системой (ГИС) называют интегрированную автоматизированную систему и комплексную компьютерную технологию, базирующуюся на последних достижениях науки и техники в области информатики, космической навигации, электронной тахеометрии, электронной аэрокосмической и наземной стереофотограмметрии, подповерхностного зондирования, связи, организации баз данных и предназначенную для получения, ввода, хранения, обновления, обработки, визуализации различных видов географически привязанной информации для оперативного комплексного анализа, прогнозирования и принятия решений по широкому кругу вопросов, связанных с картографированием, изысканиями, проектированием, строительством и эксплуатацией инженерных объектов, диагностикой, паспортизацией, экономикой, экологией, сервисом, демографией, безопасностью и т.д.

Анализ места ГИС (Цветков В.Я. Геоинформационные системы и технологии. - М: Финансы и статистика, 1998. - 285 с.) среди других автоматизированных систем позволяет сделать вывод о том, что комплексная автоматизированная обработка информации в ГИС не имеет аналогов с технологиями обработки информации в других автоматизированных системах.

В последние годы в связи с бурным развитием геоинформационных систем (ГИС) рассматривается вопрос об их применимости, наряду с САПР, в автоматизированном проектировании автомобильных дорог. Современные геоинформационные системы представляют собой новый тип автоматизированных интегрированных систем, которые включают в себя методы обработки данных многих существующих или ранее существовавших систем, таких, как АСНИ (научные исследования), САПР (проектирование), АСИС (информационные системы), СУБД (управление базами данных), АСК (картографирование), АСЦФ (системы цифровой фотограмметрии), АКС (кадастровые системы) и т.д., а также обладают уникальной спецификой в организации и обработке данных, поставивших их на качественно более высокий уровень как многоцелевых, многоаспектных систем.

Существовавшее до недавнего времени представление о ГИС как об автоматизированных системах управления компьютеризованными базами данных следует считать устаревшим, поскольку в ГИС может входить много баз данных, а полная технология обработки в ГИС значительно шире, чем при работе с конкретной базой данных. Кроме того, любая ГИС обязательно включает в себя систему экспертных оценок, которую реализовать на уровне баз данных не представляется возможным. И, наконец, базы данных в ГИС имеют не только пространственную, но и временную характеристику, что важно, прежде всего, для географических данных.

На основе анализа целей и задач существующих ГИС более правильным следует считать определение ГИС как **геоинформационных** систем, а не как географических информационных систем, поскольку процент чисто географических данных в них относительно невелик. Поэтому можно дать более короткое определение геоинформационным системам (ГИС).

ГИС - это автоматизированная интегрированная информационная система, предназначенная для обработки пространственно-временных данных, основой интеграции которых служит географическая информация.

С точки зрения функционального назначения ГИС можно рассматривать как:

**систему управления**, предназначенную для обеспечения принятия решений по оптимальному управлению разнообразными пространственными объектами (земельные угодья, природные ресурсы, городские хозяйства, транспорт, экология и т.д.);

**автоматизированную информационную систему**, объединяющую технологии и технологические процессы известных информационных систем типа САПР, АСНИ, АСИС;

**геосистему**, включающую технологии (прежде всего технологии сбора информации) таких систем как системы картографической информации (СКИ), автоматизированные системы картографирования (АСК), автоматизированные фотограмметрические системы (АСЦФ), земельные информационные системы (ЗИС), автоматизированные кадастровые системы (АКС) и т.д.;

**систему, использующую базы данных**, характеризуемую широким набором данных, собираемых с помощью различных методов и технологий, и объединяющие в себе как базы данных обычной (цифровой) информации, так и графические базы данных. При этом особую роль здесь приобретают экспертизы системы;

**систему моделирования**, использующую в максимальном объеме методы и процессы математического моделирования, разработанные и применяемые в рамках других автоматизированных систем;

**систему получения проектных решений**, использующую методы автоматизированного проектирования в САПР, но и решающую ряд других специфических задач, например, согласование принципиальных проектных решений с землепользователями, заинтересованными ведомствами и организациями;

**систему представления информации**, являющуюся развитием автоматизированных систем документационного обеспечения (АСДО) и предназначенную, прежде всего, для получения картографической информации с различными нагрузками и в различных масштабах;

**интегрированную систему**, объединяющую в единый комплекс многообразный набор методов и технологий на базе единой географической информации;

**прикладную систему**, не имеющую себе равных по широте применения, в частности, на транспорте, навигации, военном деле, топографии, географии, геологии, экономике, экологии, демографии и т.д.;

**систему массового пользования**, позволяющую применять картографическую информацию на уровне деловой графики для широкого круга пользователей, когда используют картографические данные, далеко не всегда создавая для этой цели топографические карты.

Одним из основных принципов организации пространственной информации в ГИС является **послойный** принцип (рис. 5.1).



Рис. 5.1. Пример совокупности тематических слоев, как интегрированной основы графической части ГИС

Концепция послойного представления графической информации была заимствована из систем САПР, однако в ГИС она получила новое качественное развитие, так, например:

тематические слои в ГИС могут быть представлены не только в векторной форме (как в САПР), но и в растровой форме;

векторные данные в ГИС обязательно являются объектными, т.е. несут информацию об объектах, а не об отдельных их элементах, как в САПР;

тематические слои в ГИС являются определенными типами цифровых картографических моделей, построенными на основе объединения пространственных объектов, имеющих общие свойства или функциональные признаки.

Совокупность тематических слоев образует интегрированную основу графической части ГИС, в которых объединяющей основой (подложкой) являются цифровые и электронные карты.

При разработке инженерных проектов (ИП), обоснований инвестиций (ОИ) или технико-экономических частей проектов (ТЭЧ) с непосредственным использованием ГИС решают следующие разделы:

- природно-климатические условия района проектирования: климат, рельеф, гидрография, растительность и почвы, инженерно-геологические и гидрогеологические условия;

- транспортная сеть района тяготения (автомобильные дороги, железные дороги, трубопроводы, воздушный транспорт, внутренние водные пути сообщения);

- состояние сети автомобильных дорог: годы постройки, категория дорог, состояние дорожных покрытий, земляного полотна, обочин, мостов, путепроводов, водопропускных труб и малых мостов, системы поверхностного водоотвода, обстановки и принадлежностей дорог и т.д.;

- экономика района тяготения (промышленность, сельское хозяйство, транспорт и т.д.);

- грузооборот, пассажирооборот, грузонапряженность на существующей транспортной сети в существующих условиях;

- распределение общего объема грузоперевозок по видам грузов: промышленные, сельскохозяйственные, строительные, лесные, торгово-снабженческие;

- распределение объемов перевозок по видам транспортных связей: межобластные, межрайонные, внутрирайонные;

- транспортно-эксплуатационные показатели участков автомобильных дорог объемы грузовых перевозок, интенсивность и состав существующих транспортных потоков, средняя скорость транспортных потоков;

- потери от ДТП;

- себестоимость перевозок;

- существующие показатели работы автотранспорта: коэффициент использования пробега, коэффициент использования грузоподъемности автотранспорта, средняя грузоподъемность грузового автотранспорта, количество дней работы автотранспорта в году;

- существующая интенсивность движения и состав транспортных потоков в узлах и на перегонах существующей транспортной сети.

Одной из главных задач использования ГИС-технологий в изысканиях автомобильных дорог является обеспечение автоматизированных согласований принципиальных проектных решений (план трассы, продольный профиль, условия пересечений существующих железных, автомобильных дорог, коммуникаций, водотоков, снос, отвод земель и т.д.) с заинтересованными организациями, ведомствами, частными пользователями и владельцами.

В рамках проектно-изыскательского процесса на уровне САПР-АД геоинформационные системы целесообразно использовать:

- для обоснования полосы варьирования конкурентоспособных вариантов трассы. Этот этап, предшествующий выполнению комплекса полевых изыскательских работ, является чрезвычайно ответственным, поскольку определяет объемы и стоимость изыскательских работ: экономических, геодезических, инженерно-геологических и т.д. Необоснованное завышение ширины полосы варьирования трассы приводит к соответствующему завышению объемов, стоимости и сроков проведения полевых работ и, в конечном итоге, стоимости и сроков проектирования. Занижение ширины полосы варьирования еще более опасно, поскольку наилучший вариант трассы автомобильной дороги может оказаться за пределами территории, охваченной материалами изысканий;

- при производстве изысканий автомобильных дорог, особенно для учета природно-климатических факторов района проектирования;

- при проектировании оптимальных сетей автомобильных дорог;

- при проектировании вариантов плана трассы автомобильных дорог в пределах обоснованной полосы варьирования, с целью уточнения положения каждого варианта и подварианты трассы с учетом конкретных экономических, природных и других условий проектирования;

- при проектировании на самых ранних стадиях разработки проекта — при разработке обоснований инвестиций (ОИ) или технико-экономических обоснований (ТЭО), т.е. на тех стадиях, на которых принимаются самые общие принципиальные решения по проектируемому объекту;

- при разработке обязательных разделов проектов автомобильных дорог «Охрана окружающей среды» (ОВОС) - при оценке воздействия строительства автомобильной дороги на окружающую среду;

- на этапе оценки проектных решений по широкому набору показателей;

- при выполнении автоматизированных согласований принимаемых решений с землепользователями, заинтересованными организациями и ведомствами.

## **5.6 Методы обоснования полосы варьирования конкурирующих вариантов трассы**

Размеры полосы варьирования конкурирующих вариантов трассы в значительной степени определяют как объемы аэро- и наземных изысканий, так и объемы проектных работ по поиску наилучшего положения трассы. Назначение излишне широкой полосы варьирования приводит к неоправданному увеличению объемов проектно-изыскательских работ и сильно осложняет поиск наилучшего проектного решения. При занижении ширины полосы варьирования возникает опасность, что наилучший вариант трассы может оказаться за пределами зоны, освещенной материалами изысканий.

В связи с этим обоснованию размеров зоны варьирования трассы должно уделяться исключительное внимание. Выбранная зона варьирования должна охватывать все участки местности, где могут пройти конкурирующие варианты автомобильной дороги.

Ширину полосы варьирования трассы до недавнего времени устанавливали по топографическим картам (обычно М 1:25 000-1:10 000), по материалам аэросъемок прошлых лет и по результатам воздушных обследований с учетом топографо-геодезических, ситуационных, инженерно-геологических, почвенно-грунтовых, гидрогеологических, гидрометеорологических и других условий. При этом обоснование полосы варьирования осуществлялось, как правило, субъективно без использования аналитических программ и компьютерной техники.

В практике изысканий и проектирования дорог за рубежом (например, в США, Канаде и др.) выбору полосы варьирования трассы на стадии подготовительных работ, предшествующих собственно изысканиям, уделяется огромное внимание. И это не случайно, поскольку при обос-

нованной полосе варьирования трассы в ходе последующего проектирования удается находить проектные решения, строительная стоимость которых до 10 % ниже стоимости вариантов без предварительного детального обоснования полосы варьирования, при одновременном снижении стоимости изысканий и проектирования, трудовых затрат и сокращения сроков выполнения проектно-изыскательских работ. В США, например, в связи с этим затраты на рекогносцировочные изыскания и обследования полосы варьирования составляют около 50 % от суммы затрат на весь комплекс изыскательских работ.

В связи с произошедшим в стране переходом на технологию и методы системного, автоматизированного проектирования автомобильных дорог все большее значение начинают приобретать методы аналитического обоснования полосы варьирования трассы с использованием компьютерных программ. Первый аналитический метод обоснования полосы варьирования трассы в нашей стране был разработан Д.Г. Румянцевым (Федоров В.И., Румянцев Д.Г. Инженерные аэроизыскания автомобильных дорог. - М.: Транспорт, 1984. - 240 с. Федотов Г.А. Автоматизированное проектирование автомобильных дорог. - М.: Транспорт, 1986. - 318 с). Суть его сводится к следующему.

С использованием имеющихся топографических карт, цифровых и электронных карт, материалов аэроизысканий прошлых лет, материалов изысканий, выполненных на предшествующих стадиях проектирования, а также результатов воздушных обследований строят предварительную цифровую модель местности (ЦММ), которой охватывают заведомо большую территорию, чем это требуется для установления наилучшего направления трассы. Особенно часто для этой цели используют материалы изысканий предшествующих стадий проектирования, например, материалы рекогносцировочных изысканий на стадии обоснования инвестиций (ОИ), для обоснования полосы варьирования, для разработки инженерного проекта (ИП) и т.д.

При подготовке предварительной ЦММ и аналитического определения границ полосы варьирования конкурирующих вариантов трассы из рассмотрения сразу же исключают объекты и участки местности, проход трассы автомобильной дороги через которые либо заведомо нецелесообразен (ценные сельскохозяйственные угодья, болота, оползни, осьпи, засоленные почвы, закарстованные участки местности, вечномерзлые грунты и т.д.), либо вовсе невозможен (территории промышленных предприятий, населенные пункты, территории оборонных объектов, заповедные зоны и т.д.), а также устанавливают фиксированные точки и направления, проход трассы через которые обязателен. Рассматривают также участки местности, где в ходе аналитического трассирования необходимо решить вопрос возможности их обхода, либо пропуска через них трассы автомобильной дороги. К таким участкам относят отмеченные выше ценные сельскохозяйственные угодья, болота, оползни, осьпи, засоленные почвы, закарстованные участки и, кроме того, пучинистые участки местности, конусы выноса и т.д. Им придают соответствующие стоимостные значения возведения земляного полотна автомобильной дороги, и появляется возможность автоматического альтернативного решения трассы в пользу обхода участка местности с высокой стоимостью строительных работ, либо в пользу прохождения с трассой по этому участку, если его обход связан со значительным удлинением трассы.

Границы полосы варьирования устанавливают путем аналитического предварительного компьютерного трассирования с использованием предварительной ЦММ, на которой отмечают границы участков, прохождение трассы через которые заведомо нецелесообразно (рис. 5.2, зона а); границы зон с различными стоимостными показателями возведения земляного полотна автомобильной дороги (рис. 5.2, зоны б-д); структурные линии с точками характерных изломов местности. При этом точки излома контуров и рельефа нумеруют по линиям, располагаемым поперек направления воздушной линии.

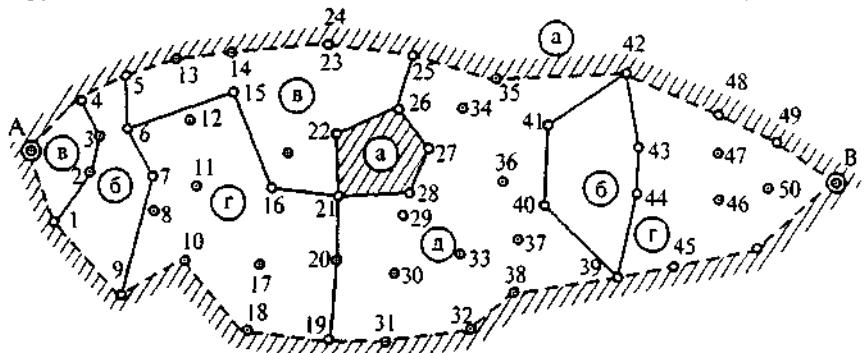


Рис. 5.2. Предварительная цифровая модель местности для обоснования окончательных границ полосы варьирования трассы

Компьютерное определение границ полосы варьирования производится в следующей последовательности (рис. 5.3):

- в каждый образованный угол поворота трассы и в каждый перелом продольного профиля вписывают горизонтальные и вертикальные кривые минимальных радиусов, сообразно категории дороги. Зоны размещения кривых ограничиваются концом предыдущей и началом последующей кривых;
- все варианты, для которых допустимые радиусы кривых в плане и продольном профиле вписаны быть не могут, а продольные уклоны оказываются больше допустимых, из рассмотрения исключаются;
- в пределах полученной таким образом зоны осуществляют перебор всех возможных вариантов с сопоставлением их между собой по укрупненным приведенным затратам. К дальнейшему рассмотрению принимают зону, разместившуюся между лучшим вариантом и прилегающими к нему вариантами, приведенные затраты для которых не отличаются более чем на 15 % от лучшего варианта трассы. При этом могут быть получены разобщенные зоны, каждая из которых определяет свое принципиальное направление трассы. Появление разобщенных зон варьирования характерно для ранних стадий проектирования (ОИ).

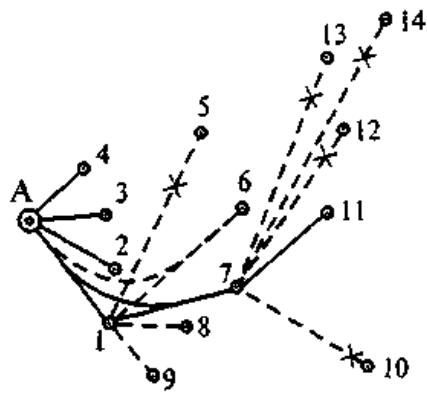


Рис. 5.3. Вариантный перебор возможных направлений трассы

Детальный сбор изыскательской информации осуществляют после этого уже только в пределах обоснованной полосы (или полос) варьирования наилучших вариантов трассы. На ранних стадиях проектирования (ОИ) нередко приходится рассматривать значительное число принципиальных направлений трассы.

В связи с необходимостью при проектировании на уровне САПР-АД получения исходной экономической, топографической, инженерно-геологической, гидрогеологической, почвенно-грунтовой, гидрометеорологической и других видов обязательной изыскательской информации на полосе варьирования трассы значительной ширины самой важной на стадии производ-

ства полевых работ становится проблема использования современных, высокопроизводительных и достаточно точных методов автоматизированного сбора, регистрации и обработки исходных данных о местности. Эта задача может быть решена лишь при условии выполнения изыскательских работ силами специализированных организаций, оснащенных парком современного аэросъемочного, электронного геодезического, электронного стереофотограмметрического, навигационно-космического, инженерно-геологического оборудования, а также вычислительной техники, укомплектованной развитым парком периферийного оборудования (лазерными и струйными принтерами, сканерами, плоттерами и т.д.).

Основными задачами дальнейших исследований в этой важнейшей области изысканий являются: научное обоснование дифференцированных в зависимости от стадий проектирования значений отклонений укрупненных приведенных затрат между лучшим вариантом трассы и двумя крайними, оконтуривающими границы зоны варьирования (в настоящее время это 15 %). Очевидно эти отклонения должны быть меньшими для более поздних стадий проектирования;

разработка нового метода обоснования полосы варьирования трассы, основанного на построении экономической модели местности (ЭММ) - «экономической лощины» с использованием принципов сплайн-трассирования.

## **ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ**

1. Какие основные факторы влияют на технологию проектирования автомобильных дорог с использованием САПР АД?
2. Перечислите основные особенности технологии проектирования дорог с использованием САПР АД?
3. Какие ограничения, связанные с протяженностью дороги, необходимо учитывать при применении программного комплекса CREDO?
4. Какая последовательность работ рекомендуется при автоматизированном проектировании автомобильных дорог?
5. Перечислите перечень операций и процедур, входящих в технологию автоматизированного проектирования дорог.
6. Перечислить последовательность работ при автоматизированном проектировании дороги с использованием программного комплекса CREDO.

## АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЛАНА ТРАССЫ

- 6.1. Принципы проложения трассы дороги.
- 6.2. Машинная реализация метода тангенсов.
- 6.3. Интерполярирование линии трассы кубическими сплайнами.
- 6.4. Метод трассирования сглаживающими сплайнами.
- 6.5. Метод «опорных элементов».

### **6.1. Принципы проложения трассы дороги**

При системно автоматизированном проектировании собственно этап трассирования неразрывно связан со всеми последующими этапами проектирования автомобильной дороги и в значительной степени от них зависит. Общая этапная последовательность автоматизированного проектирования плана автомобильных дорог состоит в следующем:

- отработка эскизного варианта трассы. С помощью гибкой линейки - сплайна либо от руки сообразно рельефу и ситуации на крупномасштабном плане наносят плавную линию очередного варианта трассы;
- автоматизированное проектирование плана трассы. Выполняют компьютерный расчет геометрических элементов плана, координат магистрального хода, координат главных точек (НК, СК, КК и т.д.), пикетов и промежуточных точек и т.д.;
- подготовка черного профиля земли по оси дороги. Черный профиль готовят по фиксированному плану варианта трассы с использованием цифровой модели местности ЦММ;
- проектирование продольного профиля. Используя профиль земли по оси дороги, а также другие необходимые данные, устанавливают компьютерным расчетом оптимальное (или рациональное) положение проектной линии продольного профиля;
- оценка полученного решения по основным показателям. Вариант оценивают по объемам работ, строительной стоимости, транспортно-эксплуатационным расходам, стоимости отвода земель, затратам на борьбу со снегозаносами, уровням удобства и безопасности движения, эстетическим критериям и т.д.;
- корректировка плана трассы с последующим повторным проектированием. На основе всесторонней оценки запроектированного варианта трассы, когда проектировщик не удовлетворен теми или иными показателями (большие объемы работ, высокая строительная стоимость, необеспеченная на некоторых участках зрительная плавность и ясность трассы, высокие транспортно-эксплуатационные расходы, необеспеченная видимость, недопустимо высокие значения итоговых коэффициентов аварийности или слишком низкие значения коэффициентов безопасности и т.д.), недостатки проектного решения устраняют путем корректировки плана трассы (в отдельных случаях только продольного профиля) с последующим повторным проектированием варианта дороги.

В основе действий проектировщика при проектировании плана и продольного профиля автомобильных дорог всегда лежат определённые способы (принципы). И если способ действия компьютера удаётся предвидеть достаточно точно, то выбор способа действия человека не является столь же определённым. В настоящее время, когда в проектировании все более активно применяют компьютерные технику и технологии, можно говорить о способах и действиях «человеко-машинных» систем. Вопрос оптимального соотношения составляющих таких систем остаётся недостаточно изученным.

Анализируя проектную деятельность с позиций частного и общего, можно сказать, что в

ее основе лежат, действия, способы (принципы), методы. В зависимости от средств реализации творческого процесса различают: эвристические методы; алгоритмические методы.

В эвристических методах определяющее значение имеют:

- ассоциативные способности; интуитивное мышление;
- способы управления мышлением.

Эвристические методы основаны на использовании общих правил и рекомендаций. Они помогают при поиске различных понятий и утверждений, которые позволяют благодаря случайным или логическим ассоциациям открыть или создать абстрактное соотношение, способное дать решение задачи.

Алгоритмические методы основаны на алгоритмах, которые можно определить, как последовательность указаний, касающихся процедур (операций), позволяющих решить задачу. Можно выделить: логические алгоритмы; математические алгоритмы.

Традиционный принцип трассирования дорог, который принято называть принципом «тангенциального трассирования» (по Г.А. Федотову), до сих пор является доминирующим в практике проектирования в подавляющем большинстве проектных организаций. Методы, которые основаны на этом принципе, относятся к эвристическим. Суть этих методов заключается в том, что на план или карту наносят с помощью линейки ломаную линию (полигональный ход). Затем в его изломы вписывают круговые кривые или круговые кривые, сопряженные с прямыми вставками переходными кривыми, обычно клоноидными. И если расчет закруглений содержит определенный математический алгоритм, то способ назначения самого тангенциального хода основывается лишь на интуиции и профессиональном опыте инженера-проектировщика.

Достоинства принципа:

- такой принцип естественно вписывается в технологию полевых изысканий, когда для съемочного обоснования закладываются теодолитные ходы, являющиеся одновременно тангенсами будущей трассы;
- прост в расчетах, если допустили ошибки при вписывании одной кривой, то эта ошибка не окажет влияния на положение последующих кривых;
- полигональный принцип наилучшим образом отвечает работе дорожных машин и механизмов при строительстве.

Недостатки принципа полигонального трассирования. Если бы слова М.М. Жванецкого «... там, где производится, видимо там и потребляется» относились дорогам, то этот принцип трассирования был бы самодостаточным. Но автомобильная дорога должна «нравиться» не только проектировщикам и строителям, сколько водителям, которые при проезде по этой дороге всеми органами чувств ощущают и оценивают её потребительские свойства. И в этом понимании дорога с длинными прямыми вставками, круговыми кривыми малого радиуса и переходными кривыми минимальной длины плохо отвечает условиям безопасного и комфортного движения.

Второй недостаток заключается в том, что полигональный ход диктует положение трассы в плане. Это влечет за собой повышенные объемы земляных работ.

Таким образом, в настоящее время принцип полигонального трассирования имеет смысл применять только в том случае, когда направления, определяющие углы поворота, фиксированы ситуационными условиями.

Его основным недостатком является невозможность во многих случаях обеспечить качественное вписывание дороги в окружающий ландшафт. Особенно часто этот недостаток проявляется при отсутствии надежного топографического материала, когда трассу дороги проклады-

вают непосредственно на местности. В результате может быть получено проектное решение, характеризующееся неудачными сочетаниями прямолинейных и криволинейных участков, необеспеченной видимостью, большими объемами строительных работ, ухудшением транспортно-эксплуатационных качеств и безопасности движения. Из-за отсутствия достаточно полной информации о рельефе местности исправление таких недостатков во многих случаях невозможна.

Трассирование по принципу «гибкой линейки» (по М.А. Григорьеву) содержит огромный потенциал развития, поскольку при этом осуществляют непосредственную укладку трассы автомобильной дороги, а расчет базиса (тангенциального хода для выноса трассы в натуре) не оказывает влияния на формирование эргономических и эстетических свойств самой трассы. По этой же причине тип закруглений может быть сколь угодно сложным в смысле комбинации геометрических элементов трассирования.

Слово *spline* в переводе с английского означает - «рейка, линейка». Применение этого метода позволяет оптимально вписывать дорогу в рельеф местности. При его реализации вручную на крупномасштабной карте или топографическом плане проводят плавную линию, а затем с помощью прозрачных шаблонов круговых кривых и клотоид определяют параметры каждого элемента и выполняют расчеты по сопряжению этих элементов, отличающиеся значительной трудоемкостью, т.е. аппроксимируют математической функцией. Эта функция представляет собой непрерывную линию, состоящую из разных элементов:

- отрезков;
- круговых кривых;
- клотоид;
- кубических парабол.

Использование компьютерных программ, позволяющих вести укладку трассы, подбор и сопряжение элементов непосредственно на ЭВМ, резко уменьшает трудоемкость расчетно-графических работ при повышении их точности.

В узлах сопряжения элементов касательные совпадают.

Достоинства принципа сплайнов:

- обеспечивает лучшее согласование дороги с ландшафтом, т.к. параметры закруглений определяются самой трассой, а не наоборот;
- минимизируется объем земляных работ.

При ручном трассировании принцип сплайна не нашел широкого применения из-за трудностей, возникающих при исправлении ошибок. Данное обстоятельство является основным недостатком принципа сплайнов.

Принцип сплайна является основой определения положения *клотоидной трассы*. В такой трассе переходная кривая - клотоида - превращается в основной элемент, наряду с прямыми и круговыми элементами. У клотоиды закон изменения кривизны наилучшим образом отвечает движению автомобиля с постоянной скоростью.

Методы трассирования, содержащие этап графической проработки трассы на картах или топографических планах местности, относятся, безусловно, к эвристическим, поскольку содержат операции интуитивного характера. И в этом смысле ряд методов трассирования по принципу «гибкой линейки» также следует относить к эвристическим.

Программное обеспечение CREDO дает возможность при проектировании плана трассы применять оба перечисленных выше метода. В подсистеме CREDO TER предусмотрено использование метода “полигонального трассирования”. При этом наличие цифровой модели

местности и возможность быстрой корректировки трассы путем изменения как положения вершин углов поворота, так и радиусов круговых кривых, и параметров клотоид существенно повышают гибкость этого метода с точки зрения сочетания дороги с окружающим ландшафтом. Подсистема CREDO PRO позволяет применять как метод “гибкой линейки”, так и метод “полигонального трассирования”.

## 6.2. Машинная реализация метода тангенсов

В основу метода тангенсов положен принцип полигонального трассирования. В самом примитивном варианте (программа ROAD) суть машинной реализации заключается в том, что вводятся координаты вершин полигонального хода в декартовых или полярных координатах.

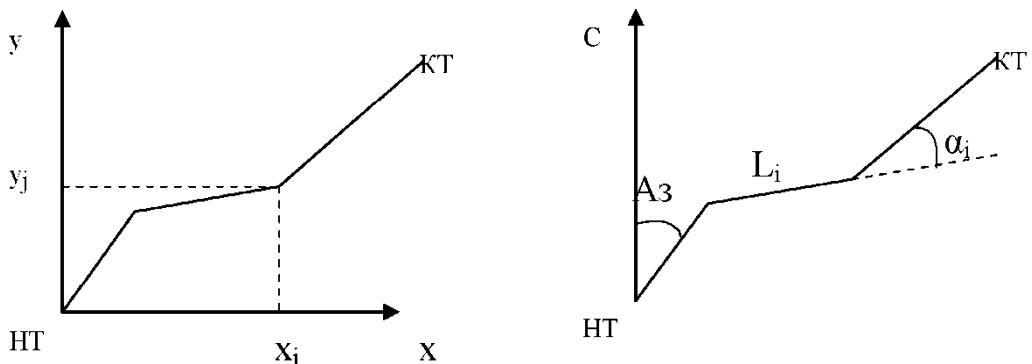


Рис.6.1 а) Декартова система координат      б) Полярная система координат

На следующем этапе проектировщиком задаются значения радиусов вписываемых кривых и длины переходных кривых. Результатом расчета являются две ведомости: ведомость углов поворота, прямых и кривых и ведомость элементов трассы.

Графический способ реализации метода тангенсов заключается в том, что на экран монитора выдается цифровая модель местности. С помощью курсора мыши фиксируются опорные точки полигонального хода и проводятся прямолинейные отрезки. После этого с помощью геометрического проектирования в углы поворота вписываются круговые кривые. Параметры закруглений, величины углов и ведомость углов поворота, прямых и кривых вычисляется автоматически.

Оба эти способа можно реализовать в программном комплексе CREDO.

## 6.3. Интерполяирование линии трассы кубическими сплайнами

Применение ЭВМ породило совершенно новые методы построения плана трассы. В качестве математической линии трассы используются кубические сплайн-функции.

Метод «сглаживания эскизной линии трассы», разработанный конце 60-х годов в США и развитый в Германии, заключается задании координат последовательности точек, снимаемых с эскизного варианта трассы, с последующей аналитической аппроксимацией посредством алгебраических полиномов высоких степеней. В отличие от методов «однозначно определенной оси» в методе «сглаживания эскизной линии трассы» задают избыточное количество точек эскизной линии и в общем случае через все заданные точки не может быть проведена удовлетворительная трасса. Эти точки эскизной линии поэтому рассматривают как «приближенные», вблизи которых должна пройти трасса.

Сплайнами называются функции, которые склеены из различных кусочков многочленов. В качестве таких многочленов взяты полиномы 3-й степени.

$$S(x) = a_i(x-x_i)^3 + b_i(x-x_i)^2 + c_i(x-x_i) + d_i \quad (6.1)$$

при  $x_{i-1} < x < x_i$ ,  $i=1, 2, \dots, n$ .

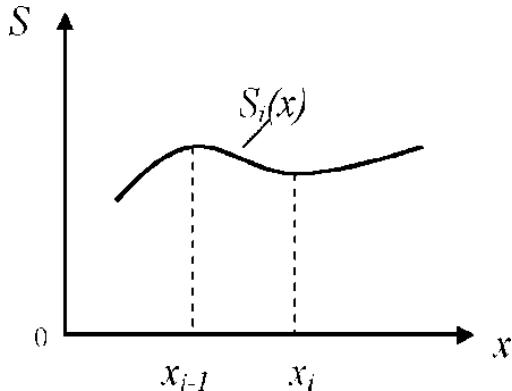


Рис.6.2. Сплайн - функция

В точках сопряжения эти полиномы имеют общую касательную. Параметры  $a_i, b_i, c_i, d_i$  называются *коэффициентами сплайна*,  $x_i$  - *узлами сплайна*.

Сплайн моделирует старое инженерное приспособление - механический сплайн - упругую линейку. Если в точках сопряжения вбить гвоздики и между ними поместить тонкую металлическую линейку, то она изогнется по линии  $S$ . При этом ее потенциальная энергия будет минимальной. Из строительной механики известно, что условие минимума потенциальной энергии выражается уравнением

$$\frac{d^4 S(x)}{dx^4} = 0. \quad (6.2)$$

Функция (6.2) как раз удовлетворяет данному условию.

Полученная аналитическая интерпретация эскизной линии трассы еще не дает возможности контроля за законами изменения кривизны линии. Для этого ее нужно перевести в обычную клоидную трассу, т.е. представить её сочетанием элементов: отрезков, клоид и круговых кривых.

Определим сначала длину трассы с помощью известных формул математического анализа

$$l(x) = \int_{x_0}^{x_n} \sqrt{1 + (S'(t))^2} dt = \sum_{i=1}^n \int_{x_{i-1}}^{x_i} \sqrt{1 + (S'_i(t))^2} dt. \quad (6.3)$$

Кривизна  $K$ , обратно пропорциональная величине радиуса, может быть вычислена по зависимости

$$K_i = \frac{S''(x)}{\left(1 + (S'_i)^2\right)^{3/2}} = \frac{2(3a_i \cdot x + b_i)}{\left(1 - (3a_i \cdot x^2 + 2b_i \cdot x + c_i)^2\right)^{3/2}}. \quad (6.4)$$

Далее строится график кривизны (рис.6.3). Затем он аппроксимируется ломаной линией. Проанализируем данный график.

1) На первом участке ломаной  $K=0$ , т.е.  $1/K=\infty$ . Это соответствует прямолинейному участку трассы.

2) На втором участке  $K=\text{const} \neq 0$ . Это означает, что  $R=\text{const}$ . Это соответствует круговой кривой.

3) На третьем участке кривизна пропорциональна длине трассы, т.е. радиус обратно пропорционален длине трассы. Такая зависимость имеет место в уравнении (6.1) для клоиды. Таким образом, наклонные участки в ломаной линии моделируются клоидой.

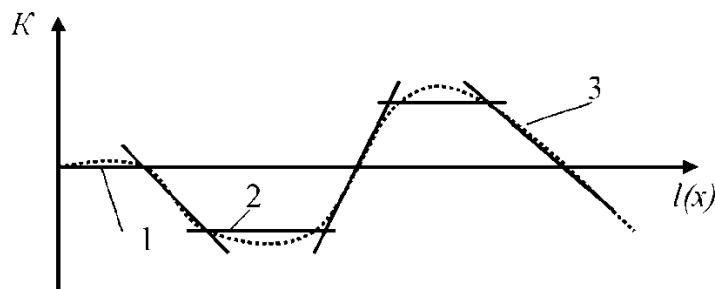


Рис.6.3. График кривизны

Существенным недостатком интерполяирования эскизной линии кубическими сплайнами является то, что их очертания сильно зависят от положения узлов интерполяции эскизной линии. Сама же процедура назначения местоположения узлов плохо формализуется, что сильно снижает возможность применения интерполяционных сплайнов для трассирования дорог. Более эффективным и универсальным аппаратом трассирования являются сглаживающие сплайны.

#### 6.4. Метод трассирования сглаживающими сплайнами

В условиях автоматизированного проектирования, когда любое проектное решение требует формализованного представления информации в числовом или аналитическом виде, а оценка этих решений связана, как правило, с функциональным анализом, значимость выбора подходящих интерполирующих и аппроксимирующих функций возрастает. Наиболее подходящими функциями для этого являются сплайны как универсальный математический аппарат для описания, хранения, преобразования, анализа и представления геометрических форм элементов, в первую очередь, трасс проектируемых автомобильных дорог.

Задаётся дискретный аналог эскизной линии трассы с шагом 30-50 м. Чем большим числом точек представлена трасса, тем более адекватным может быть её сплайновый аналог.

1. Строится начальное приближение сплайна  $S(x)$ , для которого дискретные точки эскизной линии являются узлами интерполяции. Линия сплайна выдается на экран.

2. В режиме графического диалога задаются ограничения слева и справа в целом для всей трассы и индивидуально для некоторых узлов сплайна.

3. В режиме графического диалога задаются ограничения слева и справа в целом для всей трассы и индивидуально для некоторых узлов сплайна.

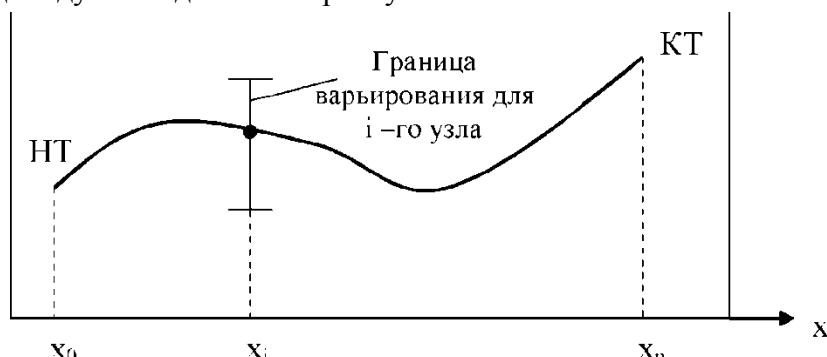


Рис.6.4. Сглаживающий сплайн

4. Осуществляется сглаживание начального сплайна. Сначала вычисляется функционал

$$I(S) = \int_{x_0}^{x_n} \left( S'(t) \right)^2 dt + \sum_{i=1}^n \frac{1}{\alpha_i} \left( S(x_i) - S_i^0 \right)^2 \quad (6.5)$$

и ищется его минимум

$$I(S) \rightarrow \min$$

В этом выражении первое слагаемое задает условие минимальной извилистости и кри-

визны трассы на рассматриваемом участке трассы. Второе слагаемое минимизирует отклонение варианта трассы от эскизной линии. Здесь  $a_i$ - весовые коэффициенты, позволяющие вести учет ценности вновь отчуждаемых земель, наличие искусственных сооружений и т. д

Минимум функционала определяется из условия равенства нулю его производной

$$\frac{dI(S)}{dS} = 0. \quad (6.6)$$

В ходе решения уравнения (6.6) определяются коэффициенты сглаженного сплайна  $S(x)$ .

Для него проверяются условия кривизны, т.е. определяется соответствие минимальных значений радиусов нормам проектирования ( $R_{mi} > R_{don}$ ). Если условие не выполняется, то происходит перемещение узлов сплайна в пределах заданной полосы варьирования.

Метод сглаживающих сплайнов особенно эффективен при выполнении проекта реконструкции дороги. В этом случае необходимо обеспечить параметры трассы в соответствии с данной категорией (1-е слагаемое) при максимально возможном сохранении оси существующей дороги (2-е слагаемое) в уравнении (6.5).

Данный метод разработан и эксплуатируется в инженерном дорожном центре «Индор» г. Томск. Он был реализован в сертифицированной программе САПР ReCAD. Первый проект с применением трассирования по методу сглаживающих сплайнов был выполнен в 1994г. при реконструкции участка автомобильной дороги «Кудринка - Моряковский Затон» в Томской обл. (км 7-18). Дорога расположена в лесной зоне Томского водозабора. Извилистая трасса на 70 % своей протяженности не отвечала требованиям IV категории. Попытки трассирования по традиционной технологии приводили к значительному отчуждению дополнительной лесополосы, что не находило поддержки и понимания у землепользователей. Применение новой технологии трассирования позволило найти приемлемое решение. Основные результаты трассирования следующие:

- извилистость трассы уменьшилась с 3,2 рад/км до 0,84 рад/км;
- дополнительный постоянный отвод земель составил всего 4,5 га;
- отклонение проектной линии от оси существующей дороги составило в среднем всего 6,7 м и, лишь на двух участках протяженностью 450 м, эта величина составила 21 и 57 м;
- трасса в плане отличается отсутствием прямых участков и хорошо вписывается в рельеф.

## 6.5. Метод «опорных элементов»

Основные принципы, соблюдаемые при автоматизированном проектировании плана трассы, состоят в следующем: обязательное использование принципов клотоидного трассирования (принцип «гибкой линейки»); детальная, многовариантная проработка трассы с сопоставлением вариантов по основным показателям и выбором наилучшего решения; обеспечение зрительной плавности и ясности трассы и согласование ее с ландшафтом.

Метод «опорных элементов» является одной из разновидностей «методов однозначно определенной оси» и впервые разработан в 60-х годах в Германии. В нашей стране метод реализован в виде пакета прикладных программ Союздорпроекта и состоит в том, что с помощью шаблонов круговых кривых и линейки устанавливают положение опорных элементов (прямых и круговых кривых), наилучшим образом аппроксимирующих эскизную трассу автомобильной дороги (рис. 10.5) и в последующей аналитической их увязке.

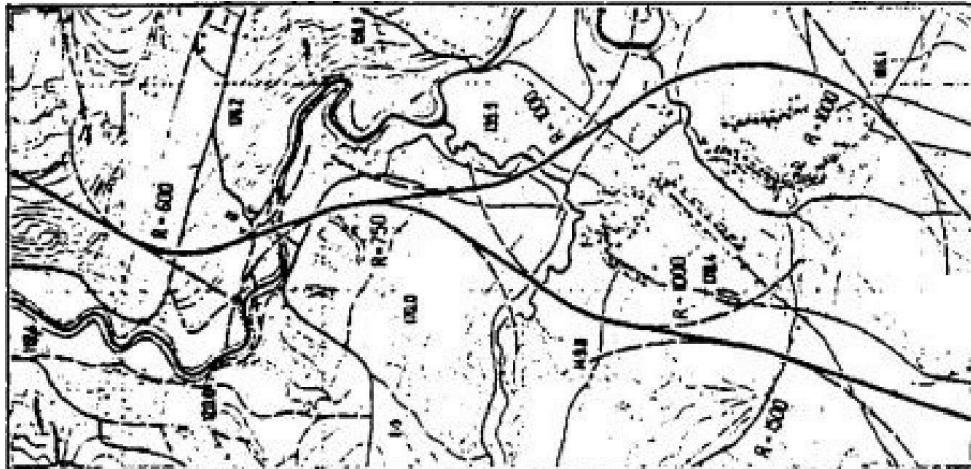


Рис. 6.5. Представление опорных элементов по эскизным вариантам плана трассы

К опорным элементам относят прямые и круговые кривые, которые сопрягаются между собой посредством соединительных элементов - клеродендрон и отрезков клеродендрон. Опорные элементы могут быть заданы в общей системе координат фиксировано, полуфиксировано и свободно (рис. 6.6).

Фиксированным считают элемент, для которого определены его тип (прямая, либо круговая кривая), радиус и положение в общей системе координат, не допускающее его перемещения в плане (см. рис. 6.6, а).

Полуфиксированным считают элемент, для которого определены его тип и положение в общей системе координат, допускающее вращение вокруг какой-либо его точки (см. рис. 6.6, б).

Свободным считают элемент, для которого задан его тип, но не определено положение в общей системе координат (см. рис. 6.6, в).

Предусмотренная возможность задания опорных элементов не только фиксировано, но полуфиксировано и свободно сильно облегчает задачу увязки смежных элементов и позволяет принимать округленные значения параметров или длин соединительных кривых. Возможны 16 различных случаев сопряжения опорных элементов, которые по способу задания элементов разделяют на три группы (рис. 10.7):

- I группа (рис. 6.7, а) - оба элемента заданы фиксировано;
- II группа (см. рис. 6.7, б) - первый элемент задан фиксировано, второй - полуфиксировано;
- III - группа (см. рис 6.7, в) - первый и третий элементы заданы фиксировано, второй - свободно.

Последовательность проектирования плана по методу «опорных элементов» состоит в следующем:

пользуясь шаблонами круговых кривых и линейкой, по эскизному варианту плана трассы устанавливают положение опорных элементов, радиусы и способы их задания;

с плана снимают исходную информацию, необходимую для автоматической увязки плана трассы на компьютере;

осуществляют автоматический расчет трассы с выдачей необходимой информации.

В результате получают следующие данные, необходимые для дальнейшего проектирования и для выноса трассы в натуру:

параметры геометрических элементов увязанной трассы;

координаты магистрального хода;

координаты главных и промежуточных точек;

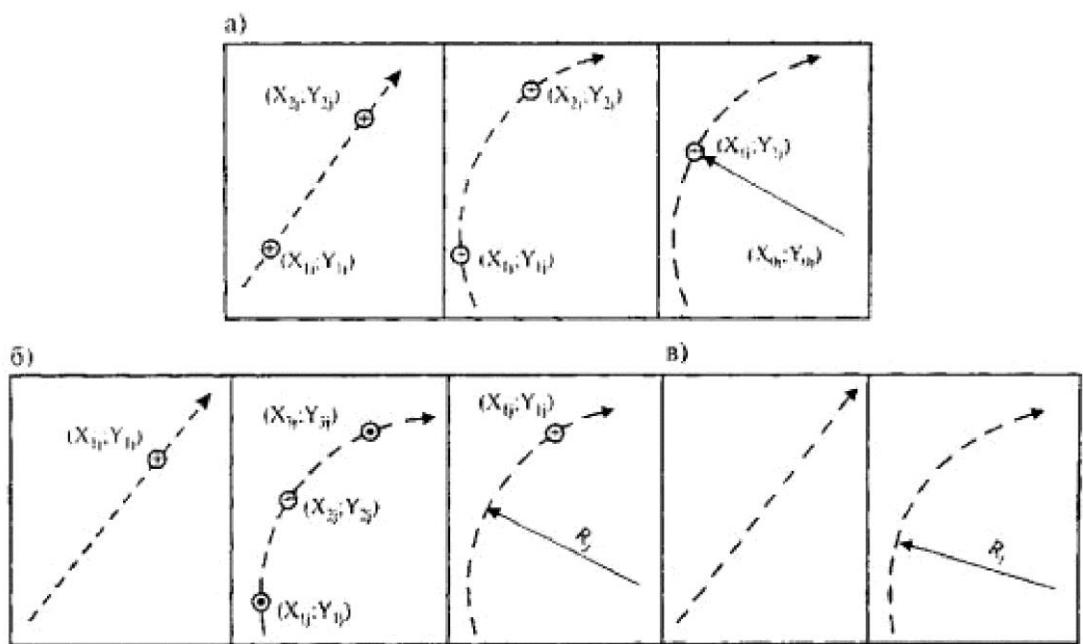


Рис. 6.6. Способы задания опорных элементов: а - фиксированные; б - полуфиксированные; в - свободные

Для обеспечения автоматизированного анализа при выборе расчетной схемы сопряжения опорные элементы задают с учетом правила знаков (рис. 6.8).

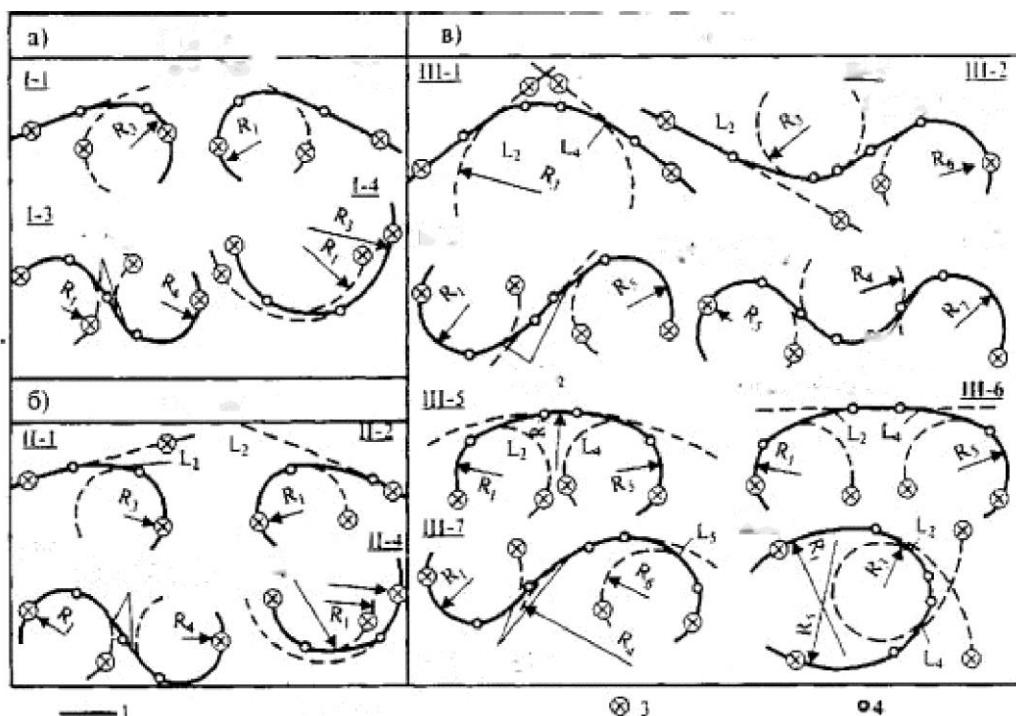


Рис. 6.7. Схемы расчетных случаев: 1 - трасса дороги; 2 - опорный элемент трассы; 3 – фиксированные точки; 4 - главные точки трассы

Одно из достоинств метода «опорных элементов» заключается в возможности непосредственного контроля за параметрами и положением всех элементов трассы.

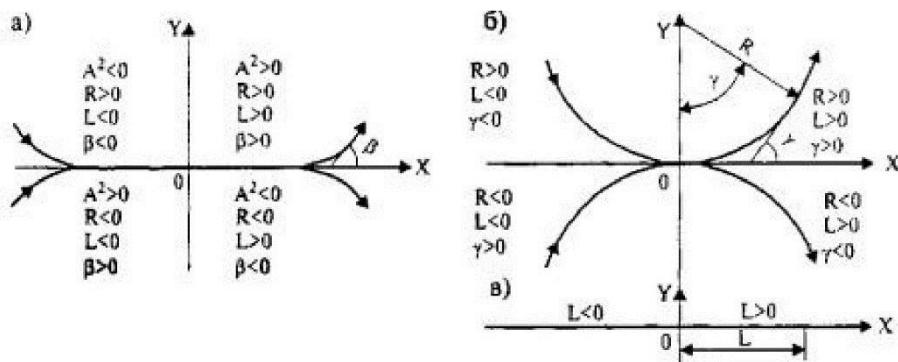


Рис. 6.8. Правило знаков при задании и расчетах элементов трассы  
а - клоид; б - круговых кривых; в - прямых

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие основные требования необходимо учитывать при проектировании трассы дороги в плане?
2. Какие методы проектирования плана трассы используются в САПР АД?
3. В какой последовательности должен проектироваться план трассы по методу полигонального трассирования?
4. Какие преимущества трассирования сплайнами?
5. В чем заключается графический способ реализации метода тангенсов?
6. Что называется сплайнами?
7. В чем заключается сущность метода трассирования «сглаживания эскизной линии трассы»?
8. Построить график кривизны и привести его анализ.
9. В чем заключается сущность метода сглаживающих сплайнов и где он особенно эффективен?
10. Привести последовательность проектирования плана по методу «опорных элементов».
11. В чем заключается сущность метода трассирования с помощью опорных элементов?
12. Как могут быть заданы опорные элементы в общей системе координат?
13. Привести последовательность проектирования плана по методу «опорных элементов».

## АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

- 7.1. Принципы проектирования продольного профиля. Оптимизационные и не оптимизационные методы.
- 7.2. Анализ плавности проектной линии продольного профиля, построенной с помощью квадратических парабол
- 7.4. Проектная линия, построенная из кубических парабол (кубических сплайнов)
- 7.5. Проектирование продольного профиля способом сплайн-интерполяции опорных точек
- 7.6. Метод «проекции градиента»
- 7.7. Метод «границных итераций»

### **7.1. Принципы проектирования продольного профиля. Оптимизационные и не оптимизационные методы.**

Ввиду значительного количества факторов, подлежащих учету при проектировании продольного профиля, и во многих случаях их противоположной направленности наиболее выгодное (оптимальное) проектное решение может быть получено с использованием математических методов оптимизации. Наиболее полным критерием оптимальности при проектировании проектной линии является минимум целевой функции, за которую принимаются суммарные приведенные затраты, включающие в себя капитальные вложения в строительство, реконструкцию, ремонты дороги, подвижной состав автомобильного транспорта и текущие затраты (автотранспортные и дорожно-эксплуатационные расходы, потери от дорожно-транспортных происшествий, экономическая оценка затрат времени пассажиров, ущерб, наносимый окружающей среде и др.). Однако ввиду сложности аналитического поиска минимума суммарных приведенных затрат и одновременного соблюдения значительного количества технических ограничений программы проектирования оптимального продольного профиля по этому критерию не нашли практического применения. В основу используемых в настоящее время в России и других странах программ положены менее сложные критерии оптимизации: минимум объемов земляных работ, минимум стоимости земляных работ, минимум суммарной стоимости земляных работ, водопропускных сооружений и дорожной одежды и т.п. [26, 29].

При построении проектной линии продольного профиля точно также используются два принципа: полигональный и сплайнов. В первом случае используется метод тангенсов – строится ломаный ход и в образовавшиеся углы перелома вписываются вертикальные кривые. Во втором случае строится сначала эскизная проектная линия, а затем она аппроксимируется различными функциями. Метод тангенсов реализован в программе PLATEIA (Словения)

Различают 2 подхода к проектированию продольного профиля: 1) оптимизационный – (автоматизированное проектирование в режиме оптимизации) 2) не оптимизационный метод (сплайн-интерполяция опорных точек) автоматизированного проектирования продольного профиля.

В не оптимизационных методах идет многовариантная проработка проектной линии. На выбор окончательного варианта в них значительное влияние оказывает субъективный фактор. Получаемая с их помощью проектная линия представляет собой сочетание прямолинейных и криволинейных элементов. При этом в точке сопряжения двух криволинейных элементов они имеют общую касательную, а прямая в точке сопряжения с кривой является касательной к ней.

В оптимизационных методах окончательный вариант выбирается с помощью целевой функции. Оптимальным считается тот вариант, для которого целевая функция принимает ми-

нимимальное значение:

$$K^* = \min(K_1, K_2, \dots, K_n). \quad (7.1)$$

В самом простом случае в качестве целевой функции принимаются строительные затраты на возведение земляного полотна  $K_{3n}$ . В этом случае условие (5.1) можно выразить через минимизацию суммы квадратов рабочих отметок:

$$K = \sum_{i=1}^N \left( y_i^{np} - y_i^3 \right)^2 \rightarrow \min, \quad (7.2)$$

где  $N$ - количество ординат продольного профиля,  $y_i^{np}$ - ,  $y_i^3$ - - проектная отметка оси дороги и отметка земли по оси дороги на  $i$ -й ординате соответственно (рис. 7.1).

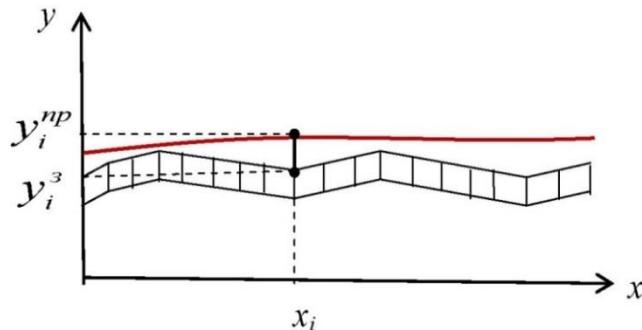


Рисунок 7.1. - Схема к определению целевой функции

## 7.2. Анализ плавности проектной линии продольного профиля, построенной с помощью квадратических парабол

Традиционно проектная линия продольного профиля конструируется из сопряжённых прямолинейных отрезков, дуг круговых кривых или заменяющих квадратических парабол, у которых радиус на всём протяжении элемента практически постоянен. Критерием плавности проектной линии принято считать согласование продольных уклонов. То есть в точке сопряжения продольный уклон одного элемента должен быть равен уклону другого элемента (рис. 7.2). Однако этот переход от одного элемента к другому не является плавным. Если в точке перехода от одного элемента к другому радиус вертикальной кривой изменяется скачком, то скачком будет изменяться и центробежное ускорение, определяемое по формулам (7.3) и (7.4) для вертикальных кривых с радиусами  $R_1$  и  $R_2$  соответственно ( $R_1 \wedge R_2$ ):

$$a_1 = \frac{v^2}{2R_1},$$

$$a_2 = \frac{v^2}{2R_2}, \quad (7.3)$$

где  $v$ - скорость автомобиля.

Соответственно скачком будет изменяться и центробежная сила, определяемая по формулам

$$F_1 = ma_1 \text{ и } F_2 = ma_2, \quad (7.4)$$

где  $m$ -масса автомобиля.

Именно в этом проявляется «не плавность» продольного профиля. При большой скорости движения автомобиля скачкообразные изменения центробежной силы будут ощущаться.

щаться в виде толчков.

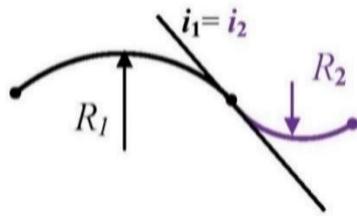


Рис.7.2 Уклоны в точке сопряжения элементов

Таким образом, плавность проектной линии, в принципе, невозможно обеспечить, применяя в качестве сопрягающего элемента круговые кривые или аппроксимирующие их квадратичные параболы. При такой конструкции продольного профиля в точках сопряжения радиус вертикальной кривой всегда будет меняться скачком.

Чтобы обеспечить плавность проектной линии продольного профиля необходимо использовать кубические параболы. Тогда в пределах одного элемента радиусы будут плавно изменяться.

### 7.3. Проектная линия, построенная из кубических парабол (кубических сплайнов)

Уравнение для описания любого из элементов может быть представлено в виде:

$$z = A + x \cdot (B + x \cdot (C + D \cdot x / 3) / 2), \quad (7.5)$$

где  $H(x)$  - отметка точки элемента, удаленной от его начала на расстояние  $x$ ;

$H_0$ -отметка проектной линии в начале элемента,  $z = A$  при  $x = 0$ ;

$B_0$  - уклон касательной в начале элемента,  $z = B_0$  при  $x = 0$ ;

$C_0$  - кривизна проектной линии в начале элемента;

$D$  - скорость изменения кривизны проектной линии в пределах элемента.

Принимая значения коэффициента  $D$  равным 0, можно вместо уравнения полинома третьей степени получить уравнение квадратной параболы. При нулевых значениях коэффициентов  $D$  и  $C$  получается уравнение прямой.

При автоматизированном проектировании продольного профиля в режиме оптимизации применен метод динамического программирования. В нем для каждого элемента определяются значения коэффициентов  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$ , соответствующие минимальному суммарному отклонению кривизны и уклонов проектной линии от заданных ограничений  $R$  и минимальному суммарному дополнительному объему земляных работ  $W$  при одновременном соблюдении технических ограничений по максимально допустимому продольному уклону, минимальным радиусам вертикальных кривых, отметкам контрольных точек, приближению к руководящим рабочим отметкам. За дополнительный объем земляных работ принята разность между объемом земляного полотна при рассматриваемом положении проектной линии и объемом земляного полотна при проектной линии, положение которой определено заданными контрольными точками и руководящими рабочими отметками.

Исходными данными для автоматизированного проектирования продольного профиля наряду с продольным профилем поверхности земли являются значения максимального продольного уклона, минимальных радиусов вертикальных кривых, отметок фиксированных и ограничивающих контрольных точек, руководящих рабочих отметок, минимальной длины кривой.

Оптимизация проектной линии ведется раздельно по участкам. Процесс оптимизации начинается с варианта, за который принимается положение проектной линии, проложенной с

руководящими рабочими отметками, или с ранее полученного любым способом проектного решения, которое не удовлетворяет проектировщика и требует корректировки. Окончание поиска оптимального проектного решения наступает в следующих случаях:

- 1) значение целевой функции  $R = 0$ , а относительное уменьшение значения целевой функции на очередном этапе итерации меньше 0.1%;
- 2) превышено максимально допустимое количество итераций при значении  $R > 0$ , что связано с отсутствием допустимого проектного решения при заданных исходных данных;
- 3) значение диапазона варьирования уменьшилось более чем в 16 раз, и изменения коэффициентов A, B, C, D очень малы, что позволяет сделать вывод о близости проектного решения к оптимальному;
- 4) проектировщик прекращает процесс оптимизации.

#### **7.4. Проектирование продольного профиля способом сплайн-интерполяции опорных точек**

Методом сплайн-интерполяции опорных точек проектируют продольный профиль без оптимизации проектной линии и соблюдения требований к продольным уклонам и радиусам вертикальных кривых.

После активизации пункта меню “Сплайн-интерполяция опорных точек” на экране появляется таблица с уже заполненными данными по профилю поверхности земли. В нее необходимо ввести данные по опорным точкам, через которые должна пройти проектная линия: пикетажные положения, коды, отметки и, в случае необходимости, продольные уклоны.

Опорным точкам могут быть присвоены следующие коды:

- 1 -проектная линия пройдет через точку с заданной отметкой;
- 2 -проектная линия пройдет через точку с заданной отметкой и фиксированным уклоном;
- 3,4 - задаются отметки начала и конца прямой;
- 5 - задается точка перелома прямой с заданной отметкой.

Обязательно должны быть заданы опорные точки в начале и конце трассы. После расчета, активизировав пункт “Просмотр опорных точек и результатов”, необходимо проконтролировать уклоны и радиусы вертикальных кривых и, если они окажутся не соответствующими нормативным требованиям, перепроектировать продольный профиль.

Другим вариантом проектирования продольного профиля способом сплайн-интерполяции опорных точек является непосредственное конструирование проектной линии на экране. Для этого необходимо по пункту меню “Просмотр продольного профиля” получить на экране изображение профиля поверхности земли. С помощью клавиши “F8” на экран вызывается таблица “Опорные точки”, в которую с клавиатуры заносятся данные по опорным точкам.

После нажатия клавиши “Esc” параметры проектной линии будут последовательно рассчитываться и отображаться на экране. После окончания проектирования продольного профиля, пользуясь соответствующими пунктами меню, можно просмотреть продольный профиль и поперечные профили, просмотреть и распечатать таблицы с параметрами профиля, сохранить и восстановить варианты продольного профиля.

Проектирование продольного профиля осуществляют либо путем многовариантной проработки по методу «опорных точек», либо с использованием одного из методов оптимизации.

Метод «опорных точек» предназначен для расчета проектной линии продольного профиля по заданным проектировщиком контрольным (опорным) точкам и радиусам вертикальных кривых. Метод был предложен проф. К.А. Хавкиным в 1965 году и усовершенствован в Союздорпроекте. Этот метод часто применяют при проектировании продольного профиля авто-

мобильных дорог в равнинной местности и в стесненных условиях (при значительном количестве контрольных точек). Проектную линию продольного профиля методом «опорных точек» решают в традиционном классе функций: в классе вертикальных выпуклых и вогнутых параболических кривых, и сопрягающих их прямых.

Проектирование осуществляют следующим образом: на продольном профиле земли по оси трассы («черном профиле») с помощью специальных прозрачных шаблонов графически наносят проектную линию, состоящую из вертикальных параболических кривых и прямых, с учетом технико-экономических требований. На основе графического проектирования продольного профиля составляют исходные данные для компьютерного расчета.

Элементы продольного профиля могут быть: фиксированными (задают пикетажное положение, проектные высоты, уклоны и радиусы в какой-либо точке); полуфиксированными (задают пикетажное положение, проектные высоты и радиусы или уклоны в какой-либо точке); свободными (задают только радиус элемента).

Первый элемент должен быть обязательно задан фиксированным. Последний может быть либо фиксированным, либо полуфиксированным.

При задании исходной информации установлено следующее правило знаков:

выпуклая кривая « - »; вогнутая кривая « + »; уклон нисходящий « - »; уклон восходящий « + ».

Проектирование осуществляют в диалоговом режиме. Исходную информацию вводят либо с дискает, либо из других разделов САПР, либо непосредственно с клавиатуры, анализируют и в случае необходимости корректируют.

После корректировки исходных данных дают команду на увязку проектной линии продольного профиля. Результаты счета выводят на экран монитора в виде таблиц либо чаще всего в графической форме в виде готового чертежа продольного профиля.

Проектировщик анализирует результаты и либо корректирует их для получения нового варианта, либо дает команду на выдачу готового чертежа и передачу информации для последующих этапов проектирования.

## 7.5 Метод «проекции градиента»

Оптимизационный метод проектирования продольного профиля «проекции градиента» применительно к проектированию автомобильных дорог был разработан в 1974 году во Всесоюзном научно-исследовательском институте транспортного строительства (Струченков В.И. Автоматизация трассирования новых железных дорог: Сб. науч. тр. / ЦНИИС. - М.: Транспорт, 1979. - вып. 104).

Автоматизированное проектирование оптимальной линии продольного профиля автомобильных дорог осуществляют в три этапа:

- оптимизация проектных отметок;
- сглаживание «цепочечной» проектной линии;
- оптимизация элементов продольного профиля.

На первом этапе искомую проектную линию представляют в виде «цепочечной линии» с узлами, совпадающими с переломными точками черного профиля земли. «Цепочечная линия» при этом должна удовлетворять всем техническим условиям и ограничениям. Поиск оптимального решения осуществляют методом «проекции градиента», представляющего собой итерационный процесс, на каждом шаге которого получают новую проектную линию с меньшим значением целевой функции, чем на предыдущем шаге.

В качестве целевой функции принята строительная стоимость земляного плотна и искус-

ственных сооружений. Оптимальное решение считают найденным, если выполнены все ограничения, проекция градиента равна нулю и никаких изменений положения проектной линии в части уменьшения значения целевой функции не происходит.

На втором этапе происходит определение границ элементов продольного профиля: «цепочечный» продольный профиль аппроксимируют последовательностью традиционных элементов: квадратных парабол и прямых, при этом могут иметь место переломы касательных на стыке элементов. Критерием оптимальности на этой стадии является минимум суммы квадратов отклонений, полученной кусочно-параболической кривой от исходной ломаной. Параметры парабол определяются таким образом, чтобы не нарушались ограничения по уклону и кривизне во всех точках предполагаемого элемента, а также выполнялись граничные условия в точках примыкания и отмыкания.

На третьем этапе выполняется оптимизация коэффициентов кусочно-параболических кривых проектной линии по строительной стоимости. При этом учитывают все заданные ограничения, длины принимают как на предыдущем этапе и исключают переломы касательных на стыках парабол. Оптимальная проектная линия продольного профиля готовится в несколько этапов с последовательным уточнением и детализацией исходных данных. На каждом этапе задают исходные данные о нормах проектирования, технических ограничениях, о поперечных профилях земляного полотна, единичных стоимостях производства земляных работ и распределении земляных масс. В местах расположения водопропускных сооружений, подземных коммуникаций, на участках с неблагоприятными гидрогеологическими условиями и т.д. задают высотные ограничения снизу. В местах прохождения проектируемой дороги под существующими или проектируемыми дорогами, ЛЭП и т.д. Задают высотные ограничения сверху.

Для обеспечения требования минимального возвышения насыпи на подтопляемых участках задают так называемые «зонные высотные ограничения». На этих участках проектная линия не должна проходить ниже прямой, соединяющей начальную и конечную точки «зоны» с заданными проектными высотами. Для обеспечения условий примыкания слева и справа задают высоты и уклоны на границах участка. Предусмотрена возможность оптимизации проектной линии со свободным правым концом. На равнинных участках местности задают руководящие рабочие отметки.

Для поиска оптимальной линии используют построение по участкам зависимости площади поперечника от величины рабочей отметки. В общем случае они имеют вид, представленный на рис. 7.3, и состоят из четырех ветвей квадратных парабол

$$F(h) = ah^2 + bh + c.$$

Весь проектируемый профиль земляного полотна разбивают на участки так, чтобы в пределах каждого участка были приблизительно одинаковыми косогорность и типы конструкций земляного полотна.

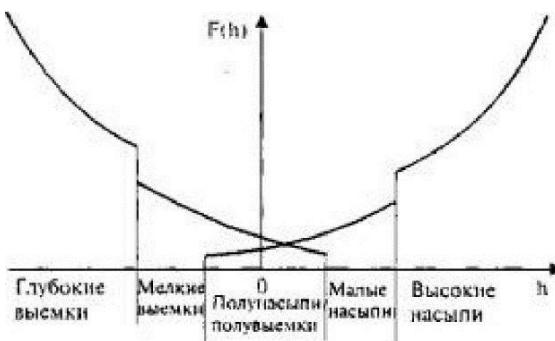


Рис. 7.3. График зависимости площади поперечного сечения  $F(h)$  от рабочей отметки  $h$

Оптимизацию продольного профиля выполняют с ориентировочным учетом способов производства работ и распределения земляных масс. При этом проектируемый профиль разбивают на участки, где насыпь и выемки сооружают совместно. На каждом из участков задают соотношения объемов насыпей  $V_H$  и выемок  $V_e$  вида:

$$k V e^3 V_H + C,$$

где  $k$ - коэффициент, позволяющий учитывать степень уплотнения грунта и непригодность использования части грунта выемок для сооружения насыпи;

$C$ - слагаемое, позволяющее учитывать запасы грунта на соседних участках или транспортных развязках (может быть как положительным, так и отрицательным).

Если при поиске положения оптимальной линии продольного профиля учитывают и стоимость искусственных сооружений, то необходимы данные об увеличении стоимости сооружений при изменении рабочей отметки на 1 м.

Задачу проектирования оптимального продольного профиля решают в интерактивном режиме с оценкой промежуточных результатов на экране монитора.

## 7.6 Метод «граничных итераций»

Метод «граничных итераций» разработан в 1967 году Е.Л.Фильштейном. Метод, реализованный в виде компьютерной программы «Пола», при проектировании оптимальной линии продольного профиля автомобильных дорог позволяет учитывать следующие условия и ограничения:

- для каждого элемента продольного профиля уклон проектной линии  $i_{pr}$  не должен превышать предельно допустимого значения, для обеспечения зрительной плавности и ясности трассы, органичного вписывания ее в окружающий ландшафт и достижения в связи с этим высоких уровней удобства и безопасности движения методом предусмотрена возможность дифференцированного задания предельных уклонов на различных участках автомобильной дороги;

- методом предусмотрена возможность дифференцированного задания допустимых значений радиусов вертикальных кривых на различных участках автомобильной дороги;

- высотные отметки проектной линии в специально оговоренных точках, называемых фиксированными, должны быть равными заданным значениям. К этим точкам могут быть отнесены отметки проезжей части мостов и путепроводов, головок рельсов железных дорог и проезжей части автомобильных дорог, пересекаемых водном уровне, отметки проезда в населенных пунктах и т.д. Фиксированными являются также точки начала и конца проектируемого участка автомобильной дороги;

- высотные отметки проектной линии в специально оговоренных точках или зонах, называемых ограничивающими, должны быть не ниже заданных значений. К этим точкам обычно относят отметки пойменных насыпей на подходах к мостам, отметки насыпей на болотах, над трубами, минимальные отметки проезда на мостах и путепроводах, когда их высоты не зафиксированы строго;

- отметки точек верха зоны с гидрогеологическими условиями, затрудняющими или делающими нежелательным прохождение проектной линии продольного профиля ниже границы этой зоны. К этим ограничениям, называемым контурными, относят, например, требование проложения проектной линии без выемок, либо с выемками ограниченной глубины. Для этой цели проектировщик задает значение  $\pm h$ - расстояние от черной линии, на котором должна находиться параллельная ей ограничивающая линия с указанием начала и конца этой зоны.

При автоматизированном проектировании оптимальной линией продольного профиля должна быть обеспечена минимальная строительная стоимость. Для этой цели задают ориенти-

ровочно стоимость 1 м<sup>3</sup> грунта насыпи и 1 м<sup>3</sup> грунта выемки, которые назначают дифференцированно по участкам проектируемой дороги в зависимости от категории разрабатываемого грунта, способа производства работ, дальности возки и т.д.

Тип поперечного профиля земляного полотна в каждом сечении выбирают в зависимости от рабочей отметки, ее знака и заданных параметров земляного полотна. Метод «границных итераций» и программа «Пола» предусматривают в процессе проектирования автоматический выбор типа поперечного профиля земляного полотна, задаваемого параметрами основных форм насыпей и выемок (рис. 7.4).

К параметрам земляного полотна относят: его ширину, коэффициенты заложения откосов, ширину берм, размеры кюветов и резервов и т.д. В зависимости от знака и численного значения рабочей отметки при подсчете объемов земляных работ в расчет автоматически вводят соответствующие очертания поперечников земляного полотна.

Стоимость отвода 1 м земельных угодий, по которым проходит автомобильная дорога, задают с целью учета изменения стоимости

Стоимость искусственных сооружений при автоматизированном проектировании оптимального продольного профиля учитывают заменой участков автомобильных дорог на искусственных сооружениях эквивалентными по стоимости участками земляного полотна.

Автоматизированное определение оптимального положения проектной линии продольного профиля оказывается наиболее эффективным при проектировании автомобильных дорог в пересеченной местности. В этих случаях совершенно необходимым является учет косогорности при подсчетах объемов земляных работ и корректировке проектной линии для отыскания оптимума. Поперечные профили земли, получаемые с использованием цифровых моделей местности (ЦММ) или в результате съемки местности по характерным точкам, преобразуют в двухскатный эквивалентный профиль с точкой перелома, лежащей по оси проектируемой дороги. Для этой цели задают уклоны левой и правой от оси частей поперечника и его пикетажное положение. Очертание косогора в промежуточных сечениях между заданными поперечниками интерполируется автоматически программным путем и учитывается при подсчете объемов земляных работ. Тип поперечного профиля земляного полотна в каждом сечении косогорного участка автоматически выбирается в зависимости от величин рабочих отметок, параметров земляного полотна, положения точек пересечения поверхности косогора с откосами земляного полотна.

Основная идея метода «границных итераций» состоит в следующем. Для решения поставленной задачи определен класс функций, в котором отыскивается оптимальное решение, - это ломаная линия со строительным шагом, принимаемым обычно равным 20 м. Ломаная с минимально возможным строительным шагом представляет собой дискретный аналог кривой переменного радиуса. Являясь более гибким элементом по сравнению с обычной круговой (или параболической) кривой, она позволяет максимально приближаться к оптимальному решению и обеспечивает большую зрительную плавность и ясность трассы, что для автомобильных дорог (особенно высоких категорий) имеет одно из важнейших значений.

Для получения нулевого (отправного) проектного профиля строят математическую модель профиля земли по оси дороги. Математическая модель черного профиля в классе ломаной с равным шагом должна наименьшим образом отклоняться от исходного черного профиля, описываемого уравнением (7.1).

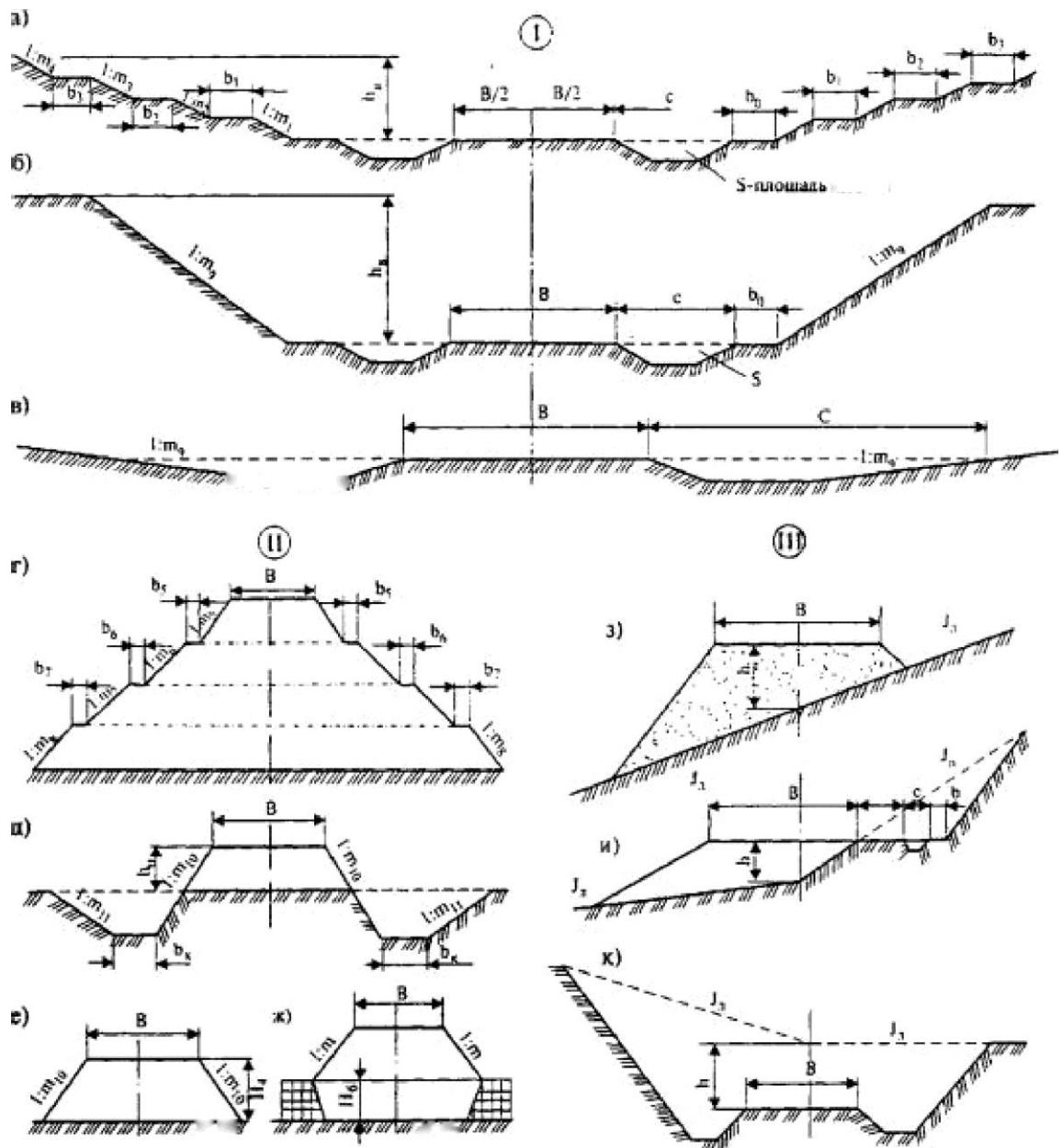


Рис. 7.4. Поперечные профили земляного полотна, используемые при автоматизированном проектировании продольного профиля по программе «Пола-2» строительства, связанного с постоянным отчуждением земель при высотном перемещении проектной линии.

Отличительные особенности метода «границных итераций» от других методов оптимизации состоят в том, что в процессе поиска допустимого решения не производится прямого вычисления и сравнения функции цели - строительной стоимости. Все промежуточные состояния продольного профиля являются недопустимыми по техническим ограничениям, но каждое последующее состояние имеет невязку в ограничениях меньшую, чем предыдущее состояние. Первое допустимое по техническим ограничениям решение является оптимальным при условии единообразного очертания поперечного профиля и одинаковой стоимости единицы объема земляных работ по всей трассе.

На втором этапе автоматизированного проектирования продольного профиля осуществляется коррекция проектной линии, полученной на первом этапе, с учетом фактического очертания поперечных профилей земляного полотна и с учетом различных стоимостных показателей возведения земляного полотна на различных участках проектируемой автомобильной дороги. Для этого в программе «Пола» использован эффективный эвристический метод коррекции проектной линии продольного профиля.

После определения предварительного положения проектной линии вычисляют рабочие

отметки и соответствующие им стоимости каждого условного поперечника на единице длины трассы. Затем в зависимости от численного значения и знака рабочей отметки, параметров истинного поперечного профиля и фактической стоимости 1 м<sup>3</sup> грунта вычисляют скорректированную рабочую отметку при условии, что стоимость единицы длины истинного поперечника должна равняться стоимости ранее найденного условного поперечника. Поскольку при этом могут быть нарушены некоторые ограничения, то в результате новой корректировки отыскивают линию, отвечающую условиям (7.3) - (7.6) и минимально отклоняющуюся от скорректированной из условия (7.2).

По полученному профилю производят распределение земляных масс, определяют действительную стоимость разработки грунта на различных участках трассы и получают уточненное положение проектной линии при повторном проектировании по программе «Пола».

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие основные требования необходимо учитывать при проектировании продольного профиля?
2. Какие методы используются при автоматизированном проектировании продольного профиля автомобильной дороги?
3. Какой критерий и какие технические ограничения положены в основу проектирования оптимального продольного профиля?
4. Привести уравнение кубической параболы (кубический сплайн) для описания проектной линии продольного профиля.
5. В чем сущность метода «опорных точек» по автоматизированному проектированию оптимальной линии продольного профиля автомобильных дорог?
6. Привести этапы проектирования оптимальной линии продольного профиля в методе «проекции градиента».
7. В чем состоит сущность метода «границных итераций»?
8. Какие условия и ограничения позволяет учитывать метод «границных итераций»?
9. В чем состоит основная идея метода «границных итераций»?
10. В чем сущность проектирования продольного профиля способом сплайн-интерполяции опорных точек?
11. Какие коды могут быть присвоены опорным точкам при сплайн-интерполяции?
12. Последовательность работ при проектировании продольного профиля по способу сплайн-интерполяции опорных точек



## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЕРХА ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА (ВЗП) в CREDO

- 8.1. Теоретические аспекты расчета ВЗП
- 8.2. Проектирование поперечного профиля трассы АД в CREDO
- 8.3. Модель поперечника трассы АД
- 8.4. Дорожные полосы. Целевые линии
- 8.5. Проектирование дорожного полотна
- 8.6. Параметры обочин

### **8.1 Теоретические аспекты расчета ВЗП**

Термин "верх земляного полотна" в "Справочнике по дорожной терминологии" отсутствует. Объясняется это тем, что при "ручном" проектировании местоположение кромок и бровок рассчитывают, как правило, фрагментарно, т.е. лишь на участках уширения проезжей части и отгона виража. При системной автоматизации процесс формирования земляного полотна подразумевает, как один из первых этапов, расчет пространственного положения кромок и бровок на всем протяжении проектируемой дороги. Пять образующих линий (ось, кромки, бровки), которые определяют геометрические параметры проезжей части и обочин (2-5 категории) и составляют понятие верха земляного полотна.

На прямолинейных участках дороги верх земляного полотна имеет, как правило, постоянные геометрические параметры, соответствующие заданной категории дороги. Исключение составляют участки переходно-скоростных полос, карманов автобусных остановок и т.п., которые требуют индивидуального рассмотрения. На криволинейных участках дороги устраивают виражи и уширения проезжей части.

В соответствии с действующими нормами проектирования (СНиП 2.05.02-85, п. 4.18 [22]) "...переход от двускатного профиля дороги к односкатному следует осуществлять на протяжении переходной кривой, а при отсутствии ее (при реконструкции дорог) – на прилегающей к кривой прямом участке, равном длине переходной кривой". При автоматизированном проектировании, когда трассирование выполняется не только прямыми, круговыми кривыми и кло-тоидами, но и посредством сплайнов и кривых Безье, понятие переходной кривой зачастую отсутствует, и для расчета отгонов виража и уширения проезжей части необходимо рассматривать другие подходы.

Очевидно, что в основу расчета отгона виража можно положить условие, которое содержится в нормах проектирования США и Германии. Суть его состоит в том, что при назначении уклона виража исходят из условия, что при движении с расчетной скоростью 1/3 (33%) действия центробежной силы должно уравновешиваться за счет виража, а 2/3 (67%) – за счет поперечного сцепления шин с покрытием.

Другой подход, который можно положить в основу схемы отгона виража, это – расчет из условия, что дополнительный продольный уклон наружной кромки проезжей части по отношению к проектному продольному профилю на участках отгона виража не должен превышать:

- для дорог 1, 2 категории – 5 промилле,
- для дорог 3-5 категории – 10 промилле в равнинной местности и 20 промилле в горной местности [22].

Рассмотрим аспекты расчета отгона виража из условия уравновешивания действия центробежной силы за счет виража и поперечного сцепления. Обратимся вновь к существующим нормам проектирования [22]. Поперечный уклон на виражах 2-5 категорий автомобильных дорог назначают в зависимости от радиуса кривой, но не более 60 промилле. В районах с частым

гололедом (10 и более дней в году), а к таким районам относится большая часть территории Российской Федерации, предельный поперечный уклон ограничивают величиной 40 промилле.

Радиус, м	Уклон виражка, %	
	основной	с гололедом
2000	20	20
1000	30	30
800	40	40
650	50	40
≤600	60	40

Какие физико-механические процессы происходят при движении автомобиля массой  $m$  по криволинейному участку дороги со скоростью  $v$ ? На автомобиль действует центробежная сила ( $C$ ) и, как следствие, возникают проблемы обеспечения условий его управляемости, а также устойчивости автомобиля на опрокидывание и на сдвиг:

$$C = \frac{mv^2}{R} = \rho mv^2 \quad (8.1)$$

Обратим внимание, что в формуле (8.1) центробежная сила при  $v = const$  прямо пропорциональна кривизне ( $\frac{1}{R}$ ) закругления. Поэтому результаты анализа явлений, имеющих функциональную связь с кривизной, правомерно соотносить как собственно с кривизной, так и с величиной центробежной силы.

Наиболее актуальной проблемой, изложенных выше, является проблема устойчивости автомобиля на сдвиг. Действие центробежной силы ( $C$ ), которое может привести к сдвигу автомобиля, уравновешивается составляющей веса автомобиля на наклонную поверхность проезжей части на вираже ( $mg i$ ) и силой поперечного сцепления шин с покрытием ( $mg\varphi'$ ), где  $\varphi'$  – коэффициент поперечного сцепления. Поделим все составляющие на  $mg$  и получим:

$$\frac{mv^2}{gR} = i + \varphi' \quad (8.2)$$

Коэффициент поперечного сцепления ( $\varphi'$ ) численно равен коэффициенту поперечной силы ( $\mu$ ), но имеет противоположное направление (знак). В отечественной литературе принято, что расчетный коэффициент поперечной силы для скорости 120-150 км/ч составляет 0.12 (0.072), для 80-100 км/ч – 0.15 (0.090) и для 60 км/ч – 0.18 (0.108). В скобках приведены значения  $\mu$  с учетом понижающего коэффициента, который зависит от ровности покрытия и наличия на колесах тягового или тормозного усилия. Понижающий коэффициент составляет величину 0.5-0.7. Для расчетов принята величина понижающего коэффициента – 0.6.

Выполненные численные эксперименты по формуле 8.2. для пояснения того, в какой мере действующие нормативы отвечают декларированному условию об уравновешивании центробежной силы показали, что для дорог 2-4 категории 29-46% действующей центробежной силы уравновешивается за счет виража и 54-71% – за счет поперечного сцепления шин с покрытием. Это вполне сопоставимо с вышеприведенным условием соотношения уравновешивающих сил, как 1/3 и 2/3 (табл. 8.2).

Отгон виража выполняется, как правило, на начальном участке закругления. В зависимости от того, в каких пропорциях сил обеспечивается уравновешивание центробежной силы на участке отгона виража, собственно и вычисляется длина этого отгона.

При движении автомобиля с расчетной скоростью возможны 3 основных метода расчета отгона виража (см. рис. 8.1):

- уклон виражка и коэффициент поперечного сцепления ( $\varphi'$ ) нарастают прямо пропорционально кривизне закругления;
- поперечное сцепление нарастает прямо пропорционально кривизне закругления до величины  $\varphi'_{max}$ . Далее действие поперечной силы компенсируется за счет нарастания  $i_e$ ;
- поперечный уклон виражка нарастает прямо пропорционально кривизне закругления до величины  $i_{e max}$ . Далее действие поперечной силы компенсируется за счет нарастания  $\varphi'$ .

Действующие нормы проектирования [22], регламентирующие, что отгон виражка должен осуществляться на протяжении переходной кривой, как раз и реализуют 1-й метод отгона виражка.

По методу 2 отгон виражка будет выполнен в конце переходной кривой, а по методу 3 – в начале переходной кривой. Следует также заметить (см. рис. 8.1), что вся зона, заключенная между линиями 2 и 3, является зоной возможных решений по отгону виражка. В частности, если вычисления будут выполняться не на расчетную, а на фактическую скорость с определенной вероятностью превышения, например, 85%, то допустимые решения из условия уравновешивания центробежной силы будут находиться внутри зоны возможных решений.

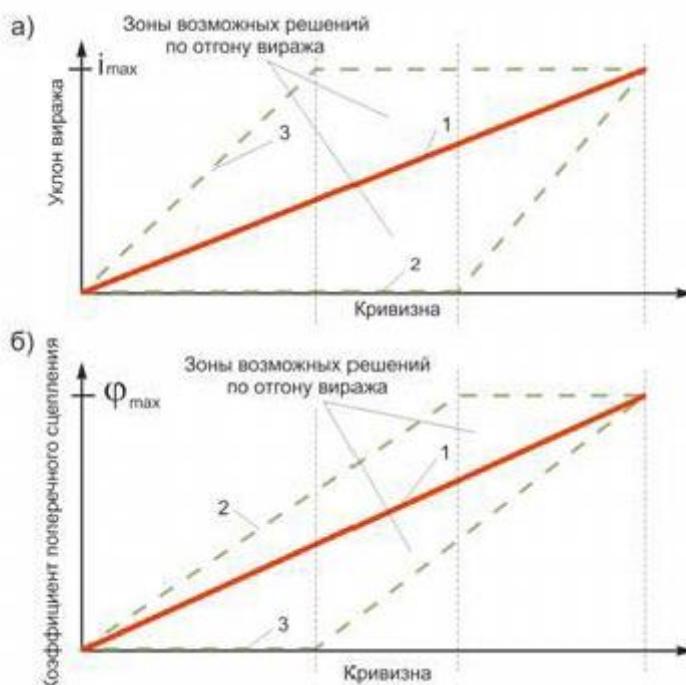


Рис. 8.1. Возможные схемы отгона виражка:  
а) связь кривизны закругления с уклоном виражка, б) связь кривизны закругления с коэффициентом поперечного сцепления

Эти рассуждения, кажущиеся излишними, не являются таковыми, если речь идет не о новом строительстве, а о реконструкции автомобильных дорог. Фактически отгон виражка на существующей дороге может быть выполнен на определенном участке, не совпадающим по длине и местоположению с переходной кривой. Это еще не означает, что его необходимо перестраивать. Проверка этого отгона виражка на соответствие зоне возможных решений вполне может дать положительный результат.

Другой подход к расчету длины отгона виражка, который обсуждался выше, заложен в нормированном значении дополнительного уклона наружной кромки. Если отгон виражка вы-

полняется вокруг оси, что чаще всего и применяется при реконструкции дорог, то длина отгона виража будет несколько короче, чем при отгоне вокруг внутренней кромки.

В табл. 8.3 приведены длины отгонов виражей для минимально допустимых радиусов дорог 2-4 категорий при различных подходах к их расчету.

Таблица 8.3

Категория дороги	Длина отгона виража, м			
	по методу 1	по методу 2, 3	вокруг оси	вокруг кромки
2	120	35	44	60
3	120	55	28	42
4	90	32	24	36

Практические расчеты длины отгона виража могут быть организованы следующим образом: выполняется расчет по одному из 3-х методов и производится проверка на допустимый дополнительный уклон наружной кромки; выполняется расчет по допустимому дополнительному уклону и производится проверка на уравновешивание действия центробежной силы.

## 8.2 Проектирование поперечного профиля трассы АД в CREDO

Проектирование поперечного профиля дороги в полном объеме предусмотрено только в системе ДОРОГИ.

Частичное создание элементов поперечника, а именно добавление или редактирование дорожных полос проезжей части и обочин, реализовано в системе ОРГАНИЗАЦИЯ ДВИЖЕНИЯ.

Просмотр запроектированных поперечников по дороге возможен в системе ТРУБЫ.

В системе ДОРОГИ решаются следующие ключевые задачи проектирования:

- проектирование поперечника для дорог высших категорий с устройством разделительной полосы;
- конструирование проезжей части дороги с возможностью создания нескольких полос движения с разными уклонами, ширинами и индивидуальной дорожной одеждой для каждой из них;
- проектирование различных элементов обочин; бортов, технологических тротуаров, лотков, упоров, тротуаров и т.д.;
- расчет виражей с различными способами реализации отгона виража и контролем обеспеченности водоотвода с проезжей части;
- расчет уширений проектного покрытия на кривых в плане и автоматизированный учет уширений в каждой полосе движения или в одной из полос, с обеих сторон от оси дороги или с указанной стороны по выбору пользователя;
- устройство дорожной одежды для нового строительства и участков ремонта существующего покрытия с предварительным фрезерованием, нарезкой ровиков уширения, расчетом выравнивающих слоев и слоев усиления;
- устройство ремонта по ширине существующего покрытия и с сохранением существующих откосов;
- проектирование откосов, берм, кюветов, нагорных канав, banquetов, полок и других элементов земляного полотна дороги.

Проектирование поперечного профиля дороги выполняется в несколько этапов, очередность которых зависит от решаемых пользователем задач:

- Проектирование дорожного полотна
- Виражи и уширения на закруглениях.

- Проектирование разделительной полосы
- Проектирование земляного полотна
- Проектирование дорожной одежды

### 8.3 Модель поперечника трассы АД

*I Общие сведения*

*II. Последовательность работ при проектировании*

*III Дорожные полосы. Целевые линии*

#### I Общие сведения

Модель поперечника трассы АД создается динамически по актуальным данным в текущий момент времени в любом указанном месте линейного объекта и отображается в окне **Поперечный профиль** окна **Профиль** (рис.8.1).

Данные поперечника хранятся в следующих проектах:

• **Разрез модели** - проект с данными по сечению цифровой модели местности по нормали к линейному объекту. Принципы формирования структуры проектов **Разрез модели** для продольного и поперечного сечений линейного объекта аналогичны.

• **Черный поперечник** - проект с данными по геометрии исходного черного поперечника, линии быта, элементов конструкции существующей дороги. Для создания масок элементов существующей дороги необходимо наличие в плане ПТО по этим элементам и их настройка в диалоге соответствия.

Для того чтобы проект **Черный поперечник** заполнился данными, необходимо наличие продольного ЧП.

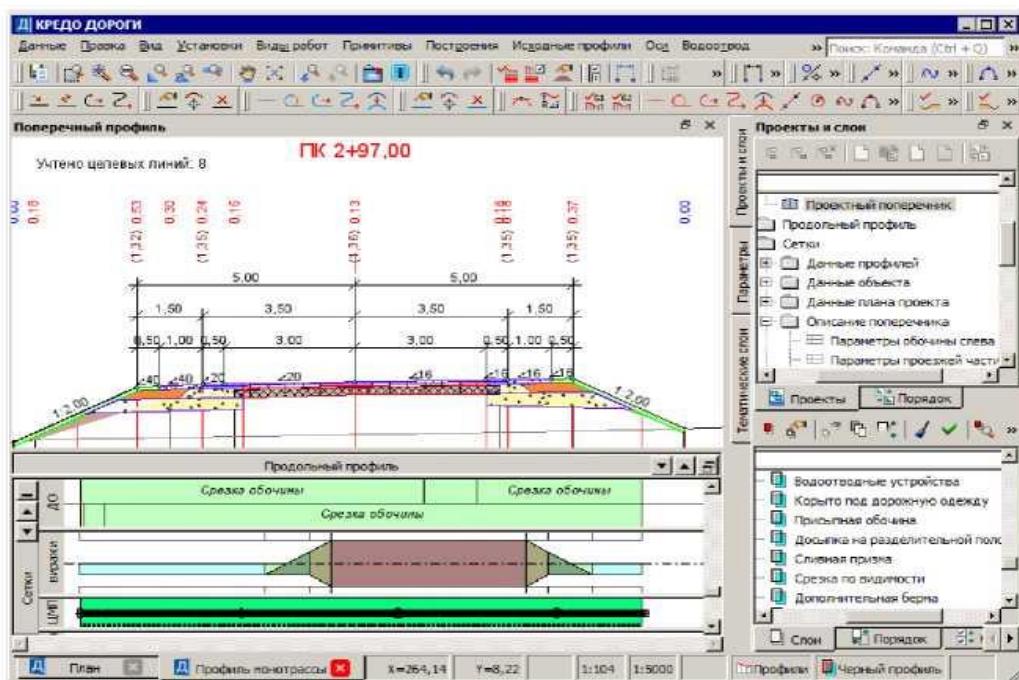


Рис.8.1 Окно **Поперечный профиль**

• **Проектный поперечник** - проект с данными по конфигурации дорожного полотна, конструкции дорожной одежды и элементам земляного полотна проектируемой дороги. Содержание этого проекта зависит от положения текущего поперечника и наличия различных продольных профилей.

## II. Последовательность работ при проектировании поперечников

Проектирование поперечного профиля дороги выполняется в несколько этапов, очередность которых зависит от решаемых пользователем задач.

На каждом этапе проектирования поперечника используются индивидуальные проекты (сетки), предназначенные для заполнения, редактирования и хранения данных, а также для просмотра информации. Во многих сетках параметры заполнены по умолчаниям и зачастую они могут устраивать пользователей без корректировки.

В общем случае последовательность работ при проектировании поперечника дороги может быть следующая:

1. Задаются параметры проезжей части (сетка **Параметры проезжей части**).
2. Проектируются обочины (сетки **Параметры обочины слева (справа)**).
3. Проектируются виражи (сетка **Виражи**).
4. Определяются уширения покрытия на кривых в плане.
5. Выполняется обновление параметров проезжей части и обочин с учетом уклонов на виражах и уширений на закруглениях.
6. Проектируются откосы земляного полотна (сетка **Земляное полотно и ремонт откосов**).
7. Определяются конструкция дорожной одежды и технология ремонта (сетка **Дорожная одежда и ремонт покрытия**).
8. Для дорог высших категорий задаются параметры разделительной полосы (сетка **Разделительная полоса**).

Сетка **Разделительная полоса** предназначена для определения условий создания разделительной полосы и ее геометрических параметров, а также параметров подстилающего и рабочего слоев общего земляного полотна для обоих направлений политрассы.

Параметры дорожных полос могут редактироваться до и после обновления.

### **8.4 Дорожные полосы. Целевые линии**

Для создания горизонтальной планировки дороги используются *дорожные полосы* (ДП). Они определяют состав, местоположение и ширину полос, образующих проезжую часть и обочины дороги. По границам дорожных полос автоматически создаются *целевые линии* (ЦЛ).

1. Основные сведения о дорожных полосах и целевых линиях
2. Назначение пользовательских целевых линий
3. Настройки параметров в диалоге. Выбор целевых линий
4. Управление ЦЛ в профиле трассы АД
5. Определение участка влияния ЦЛ на трассу АД
6. Особенности использования ЦЛ
7. Критерии корректности ЦЛ

#### ***1 Основные сведения о дорожных полосах и целевых линиях***

Дорожные полосы на перегонах создаются автоматически и отображаются в окне плана при обязательном соблюдении двух условий:

- в окне параметров трассы АД при ее создании или редактировании параметров должны быть включены настройки на создание и отображение ДП в группе **Дорожные полосы**;
- за трассой АД должны храниться проекты профилей с параметрами полос проезжей части и обочин в соответствующих сетках.

Оба условия будут выполнены после использования любого из поставочных шаблонов (команда **Дорога/ Импорт параметров и проектов профиля** в плане или команда **Данные/ Импорт параметров - из шаблона** в профиле).

ДП по проезжей части включают центральную полосу, полосы движения и полосы разделения транспортных потоков, а ДП по обочинам - все конструктивные элементы в составе обочины, которые могут быть созданы на поперечнике.

Осью для дорожных полос служит *осевая линия*. Ее назначение - возможность смещать ДП относительно трассы АД.

В построении поперечников, как правило, принимают участие *целевые линии* (ЦЛ).

*Основное свойство* целевой линии - передавать плановое и высотное (если у маски есть профиль) положение маски на поперечник дороги и тем самым определять ширину и поперечный уклон отдельных полос проезжей части и обочин, а также длину и заложение откоса насыпи или выемки на указанном пикете.

По границам *полос движения* в составе проезжей части и всех полос в составе обочин, кроме бортов, создаются ЦЛ, если в сетках профиля в параметрах полос выполнена настройка **Целевые линии = Создавать**.

ЦЛ от дорожных полос алгоритмически рассчитываются при обращении к профилю и хранятся в проектах профилей.

**Примечание** При чтении старых версий проекта (версии 2.4 и ранее), для актуализации ЦЛ от дорожных полос, требуется зайти в профиль трассы АД.

Если на грунтовой или укрепленной части обочины устраивается тротуар, то автоматически будет создано три целевые линии: две по границам обочины - до и после тротуара, еще одна ЦЛ - по границе тротуара.

**Примечание** Граница в данном контексте - это внешний по отношению к оси дороги край обочины до и после тротуара и самого тротуара.

Кроме создания дорожного полотна на перегонах, дорожные полосы и целевые линии участвуют в автоматизированном проектировании автобусных остановок, канализированных и соединительных съездов. Они служат для построения переходно-скоростных полос, центральных полос торможения (накопления) для левых поворотов, направляющих островков, остановочных карманов и т.д.

Все ЦЛ, создаваемые в системе программно, назовем *автоматические*. Линии с тем же свойством - целевые - можно создать интерактивно командой **Дорога/ Целевые линии** в окне плана. Их назовем *пользовательские ЦЛ*, поскольку именно пользователь, указывая маски, построенные ранее в графической области плана, назначает их целевыми линиями.

Типы масок, которые можно назначить пользовательскими ЦЛ:

- графическая маска (ГМ);
- структурная линия (СЛ) с одним или с двумя профилями;
- линейный тематический объект (ЛТО) с профилем или без него;
- монотрасса АД с профилем или без него.

**Ни одну из осей политрассы нельзя назначить целевой линией.**

**Основное различие** между типами ЦЛ:

- *автоматические ЦЛ* пересоздаются или удаляются программно при каждом создании, редактировании или удалении дорожных полос, съездов и автобусных остановок;

- *пользовательские ЦЛ* можно изменить или удалить только интерактивно.

**Применение пользовательских ЦЛ** позволяет:

- указать в качестве ЦЛ маску любой криволинейной геометрии, например, кромку закругления, и сразу точно передать на поперечники переменную ширину проезжей части или обочины, не создавая множества интервалов с разными ширинами и отгонами;
- указать маску, для которой определено высотное положение, и тем самым задать уклон полосы на поперечнике, это особенно актуально при переменных уклонах, например, в условиях ремонта существующего покрытия;
- назначить ЦЛ не только для любого элемента по верху дорожного полотна (проезжая часть и обочины), но и для откосов насыпи или выемки;
- назначить ЦЛ по красным линиям, ограждающим устройствам, границам землепользования.

вания и т.п., тем самым определяя координаты конца откоса проектируемой дороги.

## **2 Назначение пользовательских целевых линий**

Основой для назначения целевых линий в плане служат маски различных типов, созданные на любом этапе работы: при подготовке исходных данных (например, кромки, бровки существующей дороги) или в ходе выполнения проекта.

После перехода в профиль, просматривая поперечники, можно оценить влияние назначенных ЦЛ на отрисовку дорожных полос и откосов земполотна. При необходимости, в профиле можно отключить влияние ЦЛ или изменить отдельные параметры ЦЛ.

Последовательность действий при назначении ЦЛ в плане:

1. Активизируем команду **Дорога/Целевые линии**.
2. Выбираем трассу АД, для которой надо назначить ЦЛ, в графической области плана или из выпадающего списка в окне параметров. Для выбора доступны все трассы АД в текущем наборе проектов.
3. Интерактивно выбираем из созданных ранее масок те, которые будут служить в качестве целевых линий, - доступны маски из всех проектов текущего набора проектов.

Выбор и назначение параметров можно выполнить поочередно для нескольких ЦЛ в одном сеансе работы с диалогом **Выбор целевых линий**, открывшемся сразу после выбора трассы АД:

- добавляем строку - кнопка **Вставить строку в конец**;
- после ввода строки появляется подсказка дальнейших действий в нижнем левом углу окна плана;
- в графической области выбираем маску по всей длине (двойной щелчок курсора по маске) или на определенном участке (одним щелчком курсора указать маску, потом двумя последовательными щелчками указать произвольные или захватить существующие точки), чтобы задать ПК начала и ПК конца участка трассы АД, на который проецируется ЦЛ.
- из выпадающего списка, в котором перечислены все доступные элементы поперечника, выбираем элемент, чью границу будет определять данная ЦЛ;
- если назначаем ЦЛ по структурной линии, то можно сразу выбрать профиль, верхний или нижний, для его учета на поперечнике;
- добавляем новую строку и выбираем следующую маску для назначения ЦЛ;
- при необходимости уточняем значения **ПК начала**, **ПК конца** и другие настройки ЦЛ в диалоге **Выбор целевых линий**;
- удалить какие-либо ЦЛ можно по кнопке **Удалить строку** ;

по кнопке **Применить** сохраняются все созданные на текущий момент строки открытого диалога **Выбор целевых линий**;

**Примечание** Пара целевых линий для укрепленной и грунтовой частей обочины (1-я и 2-я) используется при наличии тротуара. Они определяют геометрию по частям обочины до и после тротуара.

## **Примеры использования целевых линий**

Ниже приведены возможные варианты назначения целевых линий в плане для передачи различной информации по бортам:

### **• 1-й вариант**

Необходимо передать из плана на поперечник плановое и высотное положение борта. Для этого можно использовать целевую линию, которая назначена по СЛ с двумя профилями (рис.):

■/ по нижнему профилю назначить конструктивную полосу, предыдущую полосе с бортом, например, **Краевая полоса**;

У по верхнему профилю назначить внутренний борт на одной из полос обочины - выбрать из списка элемент поперечника: **Борт ТТ внутренний**, **Борт остановочной полосы внутренний**,

*Борт тротуара Укрепленной части обочины внутренний, Борт тротуара Гоунтовой части обочины внутренний.*

Чтобы профили СЛ учитывались при построении поперечников, для целевых линий нужно установить флагшки в столбце **Профиль** в диалоге **Выбор целевых линий**.

Необходимо передать из плана на поперечник плановое и высотное положение борта и полосы, для которой этот борт является внутренним.

Для этого надо:

- выполнить настройки для борта (см. вариант 1);
- создать маску по внешней границе полосы, например, технологического тротуара; *J* если нужна не только плановая, но и высотная привязка внешней границы тротуара, то маска должна быть с профилем (СП. ЛТО, трасса АД);
- для маски назначить соответствие на элемент поперечника *Технологический тротуар (Упор. Лоток)*.

#### • 3-й вариант

Борт проектируется по параметрам, которые задаются в сетке профиля **Параметры обочины слева (справа)**.

Для этого варианта достаточно назначать ЦЛ по границе предыдущей полосы.

ЦЛ по борту не требуется.

### 3. Настройки параметров в диалоге Выбор целевых линий

Настройки параметров диалога позволяют • отказаться на время от ЦЛ, не удаляя ее из списка, - флагок в первом столбце таблицы; • изменить последовательность ЦЛ в списке - стрелка на строке заголовка в первом столбце (перемещаются только строки с флагком);

изменить ПК начала и ПК конца участка трассы АД, на который проецируется ЦП;

• изменить элемент поперечника, границу которого определяет ЦП; • уточнить расположение ЦП, слева или справа от трассы, - именно по этой настройке целевая будет учитываться на поперечнике с указанной стороны;

• задать поясняющее имя ЦП (по умолчанию это может быть тип маски (ГМ или СП), название ЛТО, имя трассы АД); • включить/отключить флагок для учета профиля маски; • если профиль учитывается, то можно в столбце **Ограничения поперечного профиля** перейти на настройку *Да* и задать диапазон значений поперечного уклона полосы или крутизны откоса, а также выбрать вариант построения, когда значение выходит за диапазон: *принимать предельное значение, не учитывать профиль или не учитывать ЦП*:

• отслеживать информацию по именам проектов, в которых хранятся маски, и о том, как были созданы ЦП - автоматически от съездов или назначены пользователем интерактивно.

В процессе работы с проектом в диалоговом окне **Выбор целевых линий** можно увидеть пустые строки, например, после удаления маски, которая была указана ранее в качестве целевой, или если ЦП хранятся в проекте, не подгруженном в текущий набор проектов. В такой ситуации при переходе в профиль на экран выводится сообщение о том, что не все ЦП найдены и это может привести к некорректности модели дороги.

Рекомендуется проанализировать пустые строки и, если они не нужны, удалить из списка.

В профиле в сетках параметров проезжей части и обочин будут автоматически созданы недостающие интервалы по отдельным полосам согласно настройке параметра **Элемент поперечника** в диалоге **Выбор целевых линий**.

#### **4. Управление ЦЛ в профиле трассы АД**

Работа с ЦЛ в окне профиля выполняется в диалоге **Выбор целевых линий**, который открывается командой **Поперечник/ Целевые линии** проекта **Профили**.

**Примечание** Команду **Целевые линии** можно вызвать также из меню сеток с параметрами проезжей части и обочин (активны соответствующие проекты-сетки).

В диалоге **Выбор целевых линий** отображается список ЦЛ, созданных автоматически для построения съездов и назначенных вручную по маскам плана.

В отличие от работы в плане, настройки диалога в профиле доступны для редактирования только частично.

В профиле можно:

- снять флажок - отказаться от учета целевой линии до повторной установки флажка;
- изменить привязку ЦЛ (**ПК начала** и **ПК конца**);
- учитывать или не учитывать профиль ЦЛ;
- задать или изменить ограничения поперечного уклона для ЦЛ с профилем.

После закрытия диалога **Выбор целевых линий** интервалы дорожных полос на участках применения ЦЛ будут актуализированы - удалены или созданы новые. Такие интервалы имеют признак **Создан = От целевой линии** и выделяются другим цветом.

Интервалы **от целевой линии** будут созданы, если в соответствующих графах на участках от **ПК начала** до **ПК конца** не было интервалов до применения ЦЛ.

В окне профиля нельзя назначить новую ЦЛ или удалить строку из списка целевых линий - кнопки диалога **Выбор целевых линий** для вставки и удаления строки неактивны.

#### **5. Определение участка влияния ЦЛ на трассу АД**

При назначении маски в качестве ЦЛ система выполняет поиск участка трассы АД, для которого может использоваться данная целевая линия.

Для ускорения поиска выполняются две проверки:

1. Строятся нормали в точках **начала** и **конца трассы АД** и проверяется их пересечение с данной ЦЛ.

2. Опускаются нормали на трассу АД из точек **начала** и **конца ЦЛ**.

В результате:

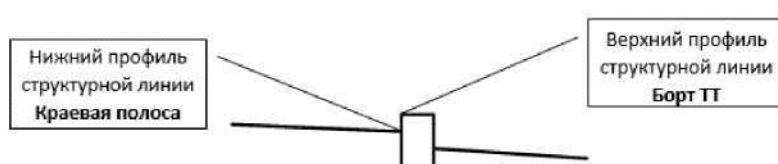
- если выполняется **условие 1**, то маска ЦЛ может быть назначена по всей длине трассы;
- если выполняется **условие 2**, то маска ЦЛ может быть назначена только на участке трассы между нормальными по границам ЦЛ.

Таким образом, маски, у которых точки начала и конца расположены близко или совпадают, например, замкнутые, могут быть назначены в качестве ЦЛ на коротком участке трассы или только в одной точке (**условие 2**), несмотря на то, что нормали от трассы АД на маску можно построить на значительном протяжении (**условие 1**).

В случаях назначения замкнутой маски в качестве ЦЛ следует разрезать маску, чтобы раздвинуть точки **начала** и **конца** участка влияния ЦЛ.

#### **6. Особенности использования ЦЛ**

Никаких дополнительных команд создания и редактирования плановой и профильной геометрии целевых линий, назначенных в плане, не предусматривается. Для этого необходимо



использовать стандартные методы создания и редактирования масок разных типов.

Особенности выбора ЦЛ:

- одна и та же маска может назначаться в качестве целевой линии для разных трасс АД;
- одна и та же маска может быть выбрана для разных элементов поперечника одной трассы АД;
- несколько масок могут быть выбраны для одного и того же элемента поперечника одной трассы АД.

Поведение *пользовательских ЦЛ*, назначенных в плане, при редактировании трасс АД:

- редактирование планового положения трассы АД - никакого изменения геометрии масок, по которым назначены целевые линии, не происходит;
- команды **Разделить** и **Стереть** - результирующие трассы АД хранят полный список целевых линий, который создавался для исходной трассы АД;
- команда **Объединить** - результирующая трасса АД хранит общий (объединенный) список целевых линий, созданных для каждой из трасс АД;
- команда **Заменить сегмент** - результирующие трассы хранят общий (объединенный) список целевых линий для обеих трасс АД;
- команда **Изменить через ВУ** - список целевых линий не меняется;
- если в качестве ЦЛ была задана монотрасса, а затем ее преобразовали в политрассу, то такая ЦЛ считается некорректной - она не будет учитываться при построении поперечника.

Поведение *дорожных полос и автоматических ЦЛ* при редактировании трассы АД:

- команды **Разделить** и **Стереть** - результирующие трассы АД хранят полный список целевых линий, которые создавались для исходной трассы АД;
- команда **Объединить** - результирующая трасса АД хранит общий (объединенный) список целевых линий, созданных для каждой из трасс АД;
- команда **Заменить сегмент** - результирующие трассы АД хранят общий (объединенный) список целевых линий, созданных для каждой из трасс АД;
- команда **Изменить через ВУ** методы **Редактировать тангенциальных ход** и **Редактировать параметры закругления** - маски ДП и целевые линии по границам полос на участке между смежными вершинами углов, которые остались неизменными, могут удаляться или перестраиваться согласно настройкам команды;
- команда **Удалить** трассу АД автоматически удаляет маски ДП и слои их хранения в плане;
- команда **Удалить проекты профиля** для трассы АД автоматически удаляет маски ДП и слои их хранения в плане;
- команды **Переместить**, **Повернуть** и др. из списка команд универсального редактирования пересоздают дорожные полосы по трассе АД, если в результате редактирования не меняется общая длина или геометрия отдельных элементов трассы АД.

Изменение планового положения ГМ, при помощи которых границы дорожных полос отображаются на плане, через команды редактирования **не меняет** интервалы ДП в окне профиля.

## 7. Критерии корректности ЦЛ

При построении поперечника система проверяет наличие целевых линий и возможность их применения для конкретной полосы дорожного полотна или откоса с соблюдением условий корректности.

В итоге на поперечнике будут учтены только корректные ЦЛ. Их количество отображается в окне **Поперечный профиль**.

Корректность целевых линий проверяется по следующим позициям:

1. Последовательность элементов поперечника.

Контролируется расстояние от оси дороги до целевой линии. Оно должно быть не менее суммы ширин всех предыдущих полос. Так сохраняется порядок следования конструктивных элементов поперечника друг за другом, от оси к бровке дороги. Если условие не выполняется, то на поперечнике полоса строится по данным из соответствующей графы с параметрами полосы движения или обочины.

2. Возможность построения дорожной полосы с уклоном, который рассчитывается с учетом профиля ЦЛ. Предельные значения уклона  $\pm 999\%$ . Уклон можно ограничить заданным диапазоном значений. Если это условие не выполняется, то предусмотрены варианты:

- / принять предельное значение уклона;
- / принять уклон полосы на поперечнике из соответствующей графы с фактическими параметрами (диапазон уклонов  $\pm 500\%$ );

У полностью отказаться от использования данной ЦЛ.

3. Для бортов, высотное положение которых определяется целевой линией, выполняется проверка на соответствие фактического возвышения борта по отношению к краю предыдущей полосы и значений **максимального и минимального возвышений**, заданных для внутренних бортов технологического тротуара.

Для тротуара и остановочной полосы **возвышение** внутреннего борта возможно в пределах его высоты.

При выходе за диапазон указанных значений борт будет строиться по настройкам графы, без учета ЦЛ.

## 8.5 Проектирование дорожного полотна

Проектирование дорожного полотна выполняется в окне **Профиль** трассы АД и включает в себя, в общем случае, работу по созданию и редактированию интервалов конструктивных полос проезжей части и обочин, расчет виражей и уширений на кривых в плане, а также выполнение настроек ремонта покрытия и откосов, влекущих за собой изменение проектных ширин покрытия и/или обочин.

В работе могут быть задействованы следующие сетки: **Параметры проезжей части**, **Параметры обочины слева**, **Параметры обочины справа**, **Виражи**, **Дорожная одежда и ремонт покрытия**, **Земляное полотно и ремонт откосов**.

**Примечание:** Для ускорения ввода параметров дорожного полотна реализовано копирование данных с левой части дороги на правую или наоборот - команда **Поперечник/ Копировать параметры поперечника**. На *политрассе* дополнительно предусмотрено копирование данных с текущей оси движения на встречное направление - команда **Поперечник/ Копировать параметры поперечника в другую ось**.

[Дорожное полотно на поперечниках](#)

[Параметры дорожного полотна](#)

[Дорожное полотно на поперечниках](#)

Дорожное полотно проектных поперечников, на каком бы этапе проектирования они не создавались - для просмотра, расчета объемов работ, построения цифровой модели проекта и т.д., формируется согласно параметрам проезжей части и обочин, которые заданы в окне профиля в соответствующих сетках. При построении поперечников дополнительно могут учитываться **корректные целевые линии**.

На геометрию дорожного полотна могут также повлиять отдельные настройки и расчет-

ные задачи, выполненные в проекте.

### Параметры дорожного полотна

Данные в сетки с параметрами проезжей части и обочин первоначально *копируются из шаблона*. Их можно редактировать, удалять или дополнять новыми данными, используя различные способы:

- При помощи интерактивных методов создания интервалов и точек в графах сеток **Параметры проезжей части**, **Параметры обочины слева** и **Параметры обочины справа**.
- При помощи целевых линий, которые назначаются по существующим маскам (команда **Дорога/ Целевые линии** в окне плана).
- Автоматизированное проектирование съездов и автобусных остановок модифицирует полосы дорожного полотна в зонах влияния, как вариант, по границам переходно-скоростных полос при их наличии (команды меню **Дорога и Съезды** в окне плана).
- Автоматизированное изменение поперечных уклонов после проектирования виражей (команда **Поперечник/ Обновить уклоны / уширения**).
- Автоматизированный учет уширения проезжей части и сужения обочин на кривых в плане (команда **Поперечник/ Обновить уклоны / уширения**). Уширения рассчитываются при помощи команды **Расчет уширений на закруглениях** и записываются в виде интервалов в специальные графы **Уширения проезжей части слева (справа)** сетки **Виражи**. Кроме этого, данные в графах можно создавать и редактировать в ручном режиме.

После обновления в полосах проезжей части и обочин, указанных пользователем, создаются точки, в которых записаны уширения покрытия и сужения обочины на закруглениях. Обновление уклонов и уширений необходимо запускать после каждой корректировки расчета виражей и уширений на закруглениях.

- Автоматизированный учет сужения/уширения проектного покрытия в условиях ремонта с *сохранением ширины существующего покрытия* (кнопки **Обновить данные графы** и **Применить** в графах **Изменение ширины проезжей части слева (справа)** сетки **Дорожная одежда и ремонт покрытия**).
- Автоматизированный учет сужения/уширения обочины при ремонте с сохранением существующих откосов (кнопки **Обновить данные графы** и **Применить** в графах **Изменение ширины обочины слева (справа)** сетки **Земляное полотно и ремонт откосов**).

Рассчитанные изменения ширины покрытия и обочины в условиях ремонта учитываются на поперечниках следующим образом:

- в составе покрытия может измениться только краевая полоса, а при ее отсутствии - крайняя полоса движения;
- в составе обочины может измениться только грунтовая часть обочины, а при ее отсутствии - укрепленная часть;
- изменение ширины происходит в заданном диапазоне;
- при выходе за диапазон может применяться:
  - / предельное значение - уменьшение возможно вплоть до обнуления полосы, но смежная полоса при этом не затрагивается;
  - / проектная ширина, т.е. изменения ширины не применяются.

Уширение или сужение полос, изменение уклонов можно выполнить интерактивно в графах с параметрами проезжей части и обочин. Но в таком случае нельзя использовать автоматическое обновление - оно обновит данные по настройкам команды, т.е. уклоны на участках с интервалами виражей и уширения на кривых.

**Примечание** Автоматическое обновление уклонов на участке виража не предусмотрено

для полос обочины **Борт и технологический тротуар или лоток** и для укрепленной и грунтовой частей, если на них предусмотрены *тротуары*.

**Примечание** Если на участке устройства виража создан интервал в графе **Борт и технологический тротуар или лоток**, то обновление уклонов на всем протяжении виража на остальных полосах обочины, кроме краевой, настраивается при помощи отдельного параметра.

#### **Рекомендуемая последовательность заполнения параметров дорожного полотна**

Система позволяет работать достаточно гибко, и пользователь может принять свою технологию формирования проектного поперечника, в частности, обновления данных. Для определенности предлагается следующий порядок работы:

1. Скопируйте параметры дорожного полотна из шаблона.
2. При необходимости скорректируйте параметры проезжей части и/или обочин, дополните недостающие интервалы полос.
3. Запроектируйте виражи.
4. Запустите команду **Поперечник/ Расчет уширений на закруглениях**. При необходимости, отредактируйте параметры интервалов, полученных по расчету, и создайте дополнительные интервалы уширения в графах **Уширения проезжей части слева (справа)** сетки **Виражи** (например, для учета уширений покрытия на подъемах, спусках и т.д.).
5. Запустите команду **Поперечник/ Обновить уклоны / уширения** и настройте параметры обновления только для проезжей части дороги. Проанализируйте поперечники в характерных точках отгона уклонов и уширений.
6. Запустите команду **Поперечник/ Обновить уклоны / уширения** повторно и настройте параметры обновления только для обочин. При этом учитываются данные по параметрам обочин, по уклонам на виражах и по уширениям проезжей части, а также настройки команды обновления, за счет каких полос обочины (укрепленной, грунтовой) или всего полотна дороги устраивать уширения проезжей части.
7. При необходимости выполните расчет изменений ширины покрытия и обочины при ремонте в графах **Изменение ширины проезжей части слева (справа)** и **Изменения ширины обочины слева (справа)** сетки **Дорожная одежда и ремонт покрытия**.

#### **Параметры проезжей части**

Данные, по которым проезжая часть отрисовывается на поперечниках, а значит, учитывается при подсчете объемов работ и создании цифровой модели проекта, хранятся в сетке **Параметры проезжей части**.

При построении поперечников на эти данные могут повлиять профили по кромкам покрытия, отдельные целевые линии, а также условия ремонта с сохранением ширины существующего покрытия.

Последовательность ввода и расчета данных по проезжей части и обочинам.

#### **Параметры проезжей части.**

#### **Общие сведения**

Проезжая часть состоит из набора дорожных полос. Для ввода параметров каждой полосы предусмотрена отдельная графа (слой хранения) в сетке **Параметры проезжей части**.

Осью для дорожных полос служит *Осевая линия*. Первоначально она создается на плане дороги по линии трассировочной оси, затем может смещаться относительно трассы АД. Вслед за осевой линией смещаются все дорожные полосы: влево, если задано положительное смещение, вправо - если отрицательное.

Если не задано смещение, то трассировочная ось дороги делит центральную полосу пополам.

Полосы, следующие за центральной полосой, расположены симметрично слева и справа

от оси.

Если какая-либо полоса слева или справа не предусмотрена, то последующие полосы сдвигаются на поперечнике к оси дороги.

Если полосы проезжей части отсутствуют, то сразу от оси дороги будет строиться обочина.

### Графы полос проезжей части

Все графы для полос проезжей части **рабочие**, т.е. служат для создания и редактирования данных.

Всего для описания проезжей части дороги предусмотрено 19 дорожных полос (граф):

- центральная полоса торможения (накопления) - для левых поворотов на канализированном съезде;
- 1-я, 2-я и 3-я полосы движения слева и справа от оси – для транзитных полос движения;
- переходно-скоростная полоса торможения и разгона слева и справа от оси, в том числе для правых поворотов на съездах;
- дополнительная полоса движения слева и справа от оси - располагается справа от ПСП по ходу движения и используется, например, для устройства остановочных карманов;
- 2-я, 3-я, 4-я, 5-я разделительные полосы слева и справа от оси - для разделения транспортных потоков.

**Примечание** Нумерация разделительных полос начата с цифры **2**, т.к. разделительная полоса между первой и второй полосами движения добавляется на поперечнике к ширине 2-ой полосы движения.

В каждой граfe можно создать практически неограниченное число интервалов (min длина интервала равна 1 м). Любой интервал может иметь участок с постоянной шириной (ширина полосы до 100 м) и участки отгонов ширины.

Используя несколько полос движения, можно смоделировать поперечный профиль многополосных дорог с различными уклонами покрытия (например, 20, 25 и 30 %). При необходимости можно задать разную конструкцию дорожной одежды по полосам.

Для всех полос движения можно задавать уширения и поперечные уклоны. Эти данные хранятся за точками.

Предусмотрен автоматический учет уширений на закруглениях трассы в плане и уклонов на виражах, возможен также ручной ввод и редактирование точечных данных.

В условиях ремонта с сохранением ширины существующего покрытия дополнительно может меняться ширина проектного покрытия. Изменение ширины происходит за счет уширения или сужения (вплоть до нулевого значения) крайней полосы проектного покрытия на данном поперечнике - это может быть полоса движения или краевая полоса.

Уклоны для **1-ой полосы движения** заданы через **абсолютные** значения, а уклоны для остальных полос движения приняты как **относительные** и равны нулю. Это значит, что уклоны на данных полосах будут равны уклону смежной полосы, расположенной ближе к оси дороги.

Если требуется изменить поперечный уклон полосы по всей длине трассы, то после выбора соответствующей граfe надо изменить уклоны в точках начала и конца трассы (команды **Параметры точки или интервала** или **Редактировать в таблице** (вкладка **Точки**)).

Если требуется изменить поперечный уклон полосы на определенном участке, то надо добавить точки по его границам (команды **Создать точку** или **Редактировать в таблице** (вставить строки на вкладке **Точки**)) и уточнить значение уклонов. Уклоны между точками будут интерполироваться.

В таблице на вкладке **Точки** добавлены фильтры для отдельных параметров точки: **Уклон** и **Уширение**.

**Для центральной полосы** за точками хранятся данные по смещению полос движения влево или вправо от осевой линии, если это требуется в стесненных условиях проектирования дороги, и дополнительное смещение в результате устройства уширений с одной стороны закругления, внутренней или внешней.

Поперечный уклон для центральной полосы не задается, а принимается как на 1-ой полосе движения, к которой всегда добавляется часть центральной полосы слева/справа при просмотре поперечников.

**Для разделительных полос** предусмотрено создание только интервалов, без точечных данных. На поперечниках ширина разделительных полос добавляется к полосам движения, с уклоном этих полос.

**Примечание** Конструкция дорожной одежды на проезжей части назначается в сетке **Дорожная одежда и ремонт покрытия**: при новом строительстве - в графе **Дорожная одежда проезжей части**, а в условиях ремонта - в графе **Участки ремонта**.

## 8.6 Параметры обочин

- [Общие сведения](#)
- [Графы полос обочины](#)
- [Графа Борт и технологический тротуар или лоток](#)
- [Тротуар](#)

### Общие сведения

Проектирование обочин дороги выполняется в двух сетках с идентичным набором граф и параметров: **Параметры обочины слева** и **Параметры обочины справа**.

Ряд параметров, которые могут повлиять на геометрию обочин, определяется в сетках **Виражи**, **Дорожная одежда и ремонт покрытия**, **Земляное полотно и ремонт откосов**.

Сужение обочин (укрепленной и/или грунтовой частей) на кривых в плане предусмотрено при условии, что уширение проезжей части устраивается за счет обочины, полностью или частично. Условие устанавливается в настройках команды **Поперечник/ Обновить уклоны / уширения**.

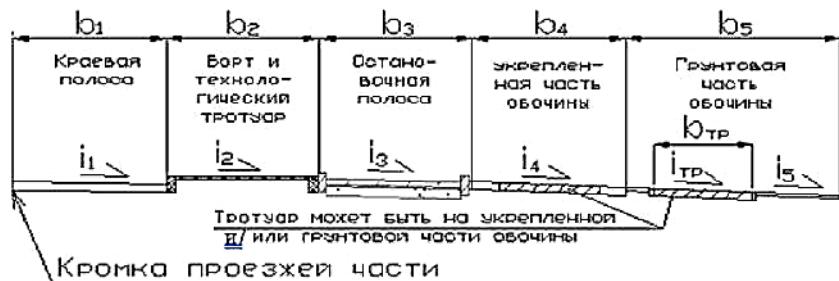
**Примечание** Слои конструкции дорожной одежды для любой полосы обочины задаются в графе **Дорожная одежда обочин** сетки **Дорожной одежды и ремонта покрытия**.

Проектирование обочин в системе проводится по аналогии с проезжей частью дороги: сначала заполняются основные параметры обочин: пикетажное положение интервалов различных полос, их ширины и уклоны, наличие бортов и тротуаров, их геометрия и высотная привязка к смежным полосам; затем учитываются уклоны и уширения на закруглениях. При построении любого поперечника выполняется проверка всех факторов, влияющих на параметры дорожного полотна, в т.ч. обочин. Подробнее см. [здесь](#).

Последовательность ввода и расчета данных по проезжей части и обочинам см. [здесь](#).

Ниже речь пойдет только о работе с сетками **Параметры обочины слева** и **Параметры обочины справа**.

Понятие обочина объединяет несколько различных полос, расположенных от внешней кромки проезжей части до бровки дорожного полотна. Это могут быть следующие элементы: краевая полоса, борт и технологический тротуар или лоток, остановочная полоса, укрепленная часть обочины, грунтовая части обочины, тротуар. Пример обочины справа:



Если на каком-либо участке одна или несколько конструктивных полос обочины не заданы, то на поперечнике происходит сдвигка заданных полос к кромке проезжей части.

Если полосы проезжей части отсутствуют, то сразу от оси дороги будет строиться обочина.

Борт может устраиваться на таких полосах обочины, как **Остановочная полоса, Борт и технологический тротуар или лоток и Тротуар**.

**Тротуар** на выделенном интервале может располагаться на укрепленной и/или на гравиторной части обочины, т.е. параметры тротуара задаются в графах **Укрепленная часть обочины** и **Гравиторная часть обочины**.

Для ускорения работы можно использовать копирование данных с одной обочины в другую при помощи команды **Поперечник/ Копировать параметры поперечника**, дополнительно для политрассы - копирование параметров обеих обочин из одной оси направления в другую.

При создании поперечника политрассы в случае расхождения осей направлений, когда расстояние между кромками становится больше допустимой ширины разделительной полосы, полосы внутренних обочин для каждого направления создаются как для двух монотрасс с соблюдением определенных правил построения. См. подробнее раздел [Проектирование разделительной полосы](#).

### Графы полос обочины

После применения шаблона дороги состав дорожных полос на обочинах уже определен:

- в плане созданы границы полос,
- в сетках профиля - точки и интервалы с параметрами указанных элементов обочины.

Все параметры по полосам обочин открыты для редактирования в сетках профиля: можно создавать новые интервалы различных полос обочин, уточнять плановую и высотную привязку бортов и тротуаров, назначать устройство прикромочных лотков или упоров, менять поперечные уклоны полос.

Все графы для ввода данных по обочинам являются рабочими и хранят точечные и интервальные данные, т.е. работа с этими графиками аналогична работе с графиками по полосам движения.

**Примечание** В графах могут отображаться следующие данные: ширина полосы **B**, уширение **ДЬ**, уклон полосы фактический (**i** - абсолютный, **Ai** - относительный), **h1** и **h2** - возвышения над смежными полосами.

**Интервалы** различных элементов обочины определяют местоположение и ширину полосы и бортов. Для полос, на которых возможно устройство тротуаров, в параметры интервала включены уклоны на полосе до и после тротуара и на самом тротуаре.

**В точках** на разных полосах могут храниться различные типы данных: уклоны полосы, уширения, **возвышения**, т.е. высотная привязка бортов. Между точками значения интерполируются.

Для точек **по границам трассы** заданы все параметры и отключить их нельзя.

Для промежуточных точек настройку на создание данных определенного типа (уклон, уширение, возвышение) можно отключить - настройка **Не создавать** в параметрах точки. Такие точки не будут участвовать в интерполяции отключенных данных, например, **возвышения** - высотной привязки бортов для остановочной полосы, а между смежными точками будут интерполированы.

лироваться только уклон и уширение.

Полосы **Борт** и **технологический тротуар или лоток** и **Тротуар** имеют свои особенности, поэтому подробнее остановимся на этих элементах обочины.

### Графа Борт и технологический тротуар или лоток

После создания интервала в графе **Борт и технологический тротуар или лоток** (команды **Создать интервал** или **Редактировать в таблице**) для него можно задавать параметры следующих элементов обочины: технологический тротуар; лоток; упор.

Кроме геометрических параметров, в интервалах графы назначаются материалы для элементов **Лоток** и **Упор**.

### Технологический тротуар

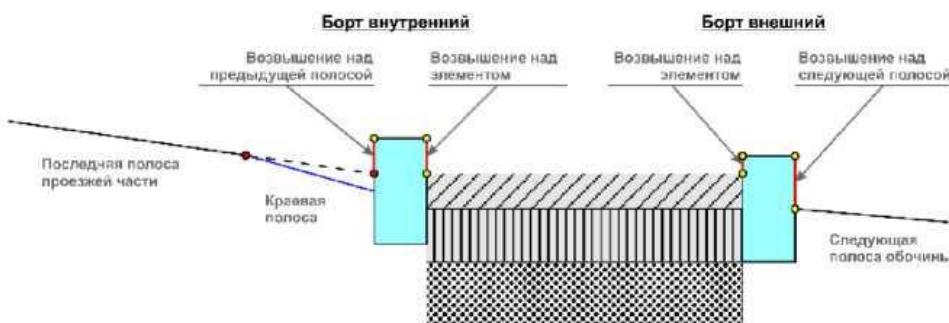
Параметры для технологического тротуара (ширина, уклон, отгоны ширины, наличие и ширина бортов) задаются, если для параметра графы **Элемент** выбора значение **Технологический тротуар**.

Технологический тротуар может быть как без бортов, так и с одним или двумя бортами. На поперечниках любой борт изображается упрощенно, в виде прямоугольника.

**Борт внутренний** - это борт, ближайший к проезжей части.

Для высотной привязки бортов используется ряд параметров, хранящихся за точками графы:

- возвышения бортов над предыдущей и следующей полосами, а также над элементом полосы (тротуаром);
- минимальное и максимальное возвышения, которые отсчитываются от верха внутреннего борта и контролируются системой при построении поперечника (рис.):



## АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ НЕЖЁСТКИХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

- 9.5. Эффективность автоматизированного проектирования дорожной одежды
- 9.6. Особенности автоматизированного проектирования конструкции дорожной одежды.  
Уровни использования оптимизационных методов проектирования дорожных одежд.
- 9.7. Оптимизационный метод проектирования дорожных одежд нежесткого типа
- 9.8. Технология автоматизированного проектирования оптимальных дорожных одежд

### 9.1. Эффективность автоматизированного проектирования дорожной одежды

При неавтоматизированном, традиционном проектировании конструкцию дорожной одежды обычно назначают по типовому проекту (Проектирование нежестких дорожных одежд, ОДН 218.046-01), а расчет ее сводится, главным образом, к определению толщины дополнительного слоя основания.

Как показывает опыт автоматизированного проектирования дорожных одежд, в результате применения оптимизационных компьютерных программ достигают три статьи экономического эффекта:

-ускорение процесса проектирования и снижение сметной стоимости проектных работ.  
Значение этой статьи экономического эффекта из получаемых наименьшее;

-исключение ошибок в расчетах. В практике проектирования автомобильных дорог все еще нередки случаи, когда при ручных расчетах вкрадываются разного рода ошибки (вплоть до арифметических) в ходе проектирования дорожных одежд и, оставаясь незамеченными, эти ошибки определяют низкую степень надежности конструкции. В результате такие конструкции требуют капитального ремонта значительно раньше нормативного срока, т.е. дают отказ;

-снижение стоимости и материоемкости строительства дорожных одежд на 5-18 %. Автомобильные дороги чрезвычайно капиталоемкие (хотя и наиболее рентабельные) сооружения. Стоимость дорожных одежд составляет наиболее весомую часть от общей стоимости автомобильных дорог (в среднем 40-70 %). Таким образом, применение элементарных оптимизационных программ при проектировании дорожных одежд позволяет при обеспеченней ее прочности снизить материоемкость и общую стоимость строительства автомобильных дорог от 5 до 18 %.

### 9.2. Особенности автоматизированного проектирования конструкции дорожной одежды. Уровни осуществления оптимизационных методов при проектировании дорожных одежд

Одна из программ проектирования оптимальных дорожных одежд разработана в Гипрдорнии (Проектирование оптимальных нежестких дорожных одежд / Под ред. проф. А.Я. Тулаева. - М.: Транспорт, 1977. - 117 с). Задачей автоматизированного проектирования дорожных одежд нежесткого типа является отыскание среди равнопрочных конструкций наиболее рационального проектного решения с учетом строительной стоимости конструкций, технологии производства работ и эксплуатационных показателей. Это может быть достигнуто в результате рассмотрения нескольких допустимых вариантов конструкции с последующим определением стоимостных показателей и выбором наиболее экономичного и технологичного решения. При традиционной ручной технологии имеется возможность рассматривать от двух до пяти вариантов и среди них выбирать наиболее рациональный. Однако при таком подходе нет уверенности в том, что среди рассмотренных вариантов оказались наиболее рациональные из возможных.

Переход на компьютерный расчет конструкций дорожных одежд по специальным, разработанным для этой цели оптимизационным программам, позволяет значительно снизить время, затрачиваемое на расчеты конструкций, и целенаправленно искать наиболее рациональный вариант из значительно большего рассматриваемого их числа. При этом количество целенаправленно перебираемых вариантов равнопрочных конструкций дорожных одежд может достигать от нескольких десятков до сотен тысяч и, тем не менее, нет уверенности в том, что наилучшее решение оказалось в числе рассмотренных.

Типовые решения дорожных одежд позволяют значительно сузить диапазон поиска наиболее рациональной конструкций, но решают задачу оптимизации лишь частично. Каждый материал конструктивных слоев имеет свою конкретную стоимость, и эти стоимости, в свою очередь, зависят от района строительства дороги, расположения строительных баз, карьеров местных дорожно-строительных материалов, складов, дальности возки материалов и т.д. Грунтовые условия также различны даже при одинаковых конструкциях, и учесть все эти особенности в типовых проектах практически невозможно. Поэтому типовые проектные решения - это решения ориентировочные, которые, как правило, не являются наилучшими из возможных.

Наилучшие проектные решения могут быть получены в результате автоматизированного проектирования оптимальных дорожных одежд, включающего в себя конструирование, расчеты, технико-экономический анализ и выбор наиболее рационального проектного решения. Наиболее эффективным является автоматизированное проектирование с использованием специальных алгоритмов и программ математической оптимизации, одна из которых реализована в Гипрдорнии канд. техн. наук Б.М. Наумовым.

Компьютерные программы проектирования оптимальных нежестких дорожных одежд реализуют методы расчета дорожных конструкций, регламентированные ОДН 218.046-01.

Дорожная одежда является одним из наиболее дорогих и ответственных элементов автомобильных дорог. Их строительная стоимость составляет от 40 до 60 % от стоимости автомобильной дороги. В связи с этим оптимальное проектирование дорожных одежд является одной из актуальнейших проблем дорожного строительства.

Оптимизационные методы проектирования дорожных одежд можно осуществить на 3-х уровнях.

Первый уровень - оптимизация конструкции дорожной одежды. Здесь разрабатывают несколько вариантов дорожной одежды. Для каждого варианта строят целевую функцию  $K$  - строительную стоимость  $i$ -го варианта дорожной одежды. Оптимальным считается вариант, для которого целевая функция принимает минимальное значение

$$K = \min (K_1, K_2, \dots, K_n)$$

где  $n$  - количество рассматриваемых вариантов.

Второй уровень - конструкция дорожной одежды оптимизируется с учётом: длины трассы, протяжённости насыпей и выемок, гидрологических условий, местоположения источников получения местных дорожно-строительных материалов, размещения производственных баз, местоположения станций доставки привозных материалов.

На этом уровне уже удается реализовать системный подход к процессу проектирования. Данный уровень был реализован в Ташкентском автодорожном институте.

Третий уровень - создаётся единая система проектирования, строительства и эксплуатации дорожных покрытий. Производится оптимизация ресурсов, выделяемых на строительство и эксплуатацию дорог в пределах данного региона. Такой уровень уже реализован в Канаде, Нидерландах.

### 9.3. Оптимизационный метод проектирования дорожных одежд нежесткого типа

В программе Гипродорний в качестве критерия оптимальности, определяющего эффективность того или иного варианта конструкции, является строительная стоимость единицы площади дорожной конструкции ( $1 \text{ м}^2$ ,  $100 \text{ м}^2$  и т.д.):

$$K_{\delta o} = \sum_{i=1}^n h_i K_i \Rightarrow \min, \quad (8.1)$$

где  $h_i$  - толщина  $i$ -го конструктивного слоя, см;

$K_i$  - стоимость единицы толщины  $i$ -го конструктивного слоя, отнесенная к единице площади, руб/см.

Для наиболее рационального использования местных дорожно-строительных материалов проектированию дорожной конструкции всегда предшествует разработка транспортной схемы строительства, что позволяет выделить на проектируемой дороге ряд характерных участков в зависимости от грунтовых и гидрогеологических условий, от зон использования источников снабжения местными дорожно-строительными материалами и производственных баз и учесть транспортные расходы на перевозку материалов.

Процесс поиска оптимальной конструкции нежесткой дорожной одежды сводится к определению такой совокупности конструктивных слоев, при которой оказывается выполненным условие (8.1) и которая одновременно удовлетворяет следующему комплексу технических ограничений:

- 1) Конструкция дорожной одежды в целом удовлетворяет требованиям прочности и надежности по величине упругого прогиба при условии:

$$E_{ob} > E_{min} K_{np}^{mp}, \quad (8.2)$$

где  $E_{ob}$  - общий расчетный модуль упругости конструкции, МПа;

$E_{min}$  - минимальный требуемый общий модуль упругости конструкции, МПа;

$K_{np}^{mp}$  - требуемый коэффициент прочности дорожной одежды по критерию упругого прогиба, принимаемый в зависимости от требуемого уровня надежности (

- 2) Недопустимые деформации сдвига в конструкции не будут накапливаться, если в грунте земляного полотна и в малосвязных (песчаных) слоях обеспечено условие:

$$T \leq \frac{T_{np}}{K_{np}^{mp}}, \quad (8.3)$$

где  $K_p$  - требуемое минимальное значение коэффициента прочности, определяемое с учетом заданного уровня надежности;

$T$  - расчетное активное напряжение сдвига (часть сдвигающего напряжения, непогашенная внутренним трением) в расчетной (наиболее опасной) точке конструкции от действующей временной нагрузки;

$T_{np}$  - предельная величина активного напряжения сдвига (в той же точке), превышение которой вызывает нарушение прочности на сдвиг.

3) В монолитных слоях дорожной, возникающие при прогибе одежды напряжения под действием повторных кратковременных нагрузок, не должны в течение заданного срока службы приводить к образованию трещин от усталостного разрушения. Для этого должно быть обеспечено условие:

$$\sigma_r < \frac{R_N}{K_{np}^{mp}}, \quad (8.4)$$

где  $K_{np}^{mp}$  - требуемый коэффициент прочности с учетом заданного уровня надежности;

$R_N$  - прочность материала слоя на растяжение при изгибе с учетом усталостных явлений;

$\sigma_r$  - наибольшее растягивающее напряжение в рассматриваемом слое, устанавливаемое расчетом.

4) Конструкцию дорожной одежды считают морозоустойчивой, если соблюдено условие

$$l_{nyc} \leq l_{don}, \quad (8.5)$$

где  $l_{nyc}$  - расчетное (ожидаемое) пучение грунта земляного полотна;

$l_{don}$  - допускаемое для данной конструкции пучение грунта.

$$H > z$$

$z_i$  - минимальная толщина дорожной конструкции по условию морозоустойчивости;

5) Обеспечение технологических требований и требований по осушению дорожной конструкции. Полную толщину дренирующего слоя определяют по формуле:

$$A_i \leq h_i \leq B_i \quad (8.6)$$

где где  $A_i$  и  $B_i$  - ограничения толщины  $i$ -го конструктивного слоя снизу и сверху. Ограничения толщин конструктивных слоев снизу  $A_i$  регламентируются табл. 8.2. Для дополнительного слоя основания  $A_i$  назначают из условия обеспечения осушения дорожной одежды.

$$h_n = h_{nac} + h_{zan},$$

$h_{nac}$  - толщина слоя, полностью насыщенного водой, м;

$h_{zan}$  - дополнительная толщина слоя

Для решения поставленной задачи математического программирования с целевой функцией дискретного типа и сложной структурой ограничивающих функций разработан эффективный итерационно-оптимизационный метод

Шаг перебора каждого  $i$ -го конструктивного слоя  $\Delta h_i$  нерационально назначать меньше, чем технологически возможная точность устройства  $i$ -го слоя. Поэтому шаг перебора  $\Delta h_i$  принимают: для асфальтобетона - 0,5 см; для материалов, обработанных вяжущими - 1,0 см; для прочих несвязанных материалов - 2,0 см.

Шаг перебора  $\Delta h_i$  и интервалы ограничений  $A_i$  и  $B_i$  связаны зависимостью:

$$\frac{B_i - A_i}{\Delta h_i} = m_i,$$

где  $m_i$  - целое число.

Если толщину какого-либо слоя варьировать нежелательно, то задают  $h_i = A_i = B_i$ .

Последовательность поиска оптимальной конструкции нежесткой дорожной одежды следующая:

- формируется первый вариант дорожной одежды таким образом, что толщины всех конструктивных слоев принимают равными ограничению снизу  $h_i = A_i$ ;

- выполняют все расчеты на прочность снизу-вверх и осуществляют проверку

исходной конструкции по всем техническим ограничениям. Если по какому-либо техническому условию конструкция не проходит, то увеличивают нижний (первый) слой на шаг перебора  $\Delta h_1$  (рис. 1) и вновь выполняют все расчеты;

- если в ходе расчета оказывается, что  $h_i = B_i$ , а по каким-либо техническим ограничениям конструкция все еще не проходит, то увеличивают толщину второго слоя на шаг  $\Delta h_2$ , а толщину первого слоя принимают  $h_1 = A_1$  и вновь выполняют все расчеты, увеличивая первый слой с шагом  $h_1 = h_1 + \Delta h_1$  и т.д. до тех пор, пока не будет сформирован первый вариант, удовлетворяющий всем техническим условиям. Вариант запоминается и подсчитывается его стоимость;

- увеличивают толщину второго снизу слоя  $h_2 = h_2 + \Delta h_2$  и, полагая  $h_1 = A_1$  вновь с шагом  $\Delta h_1$  отыскивают вариант, удовлетворяющий требованиям всех технических ограничений. Если стоимость сформированного таким образом второго варианта возросла, увеличивают толщину третьего слоя  $h_3 = h_3 + \Delta h_3$ , принимая равными  $h_1 = A_1$  и  $h_2 = A_2$  и т.д. Вариант не запоминают. Если стоимость уменьшилась, вариант запоминают и, вновь увеличив слой  $h_2 = h_2 + \Delta h_2$  снова повторяют расчеты и т.д.

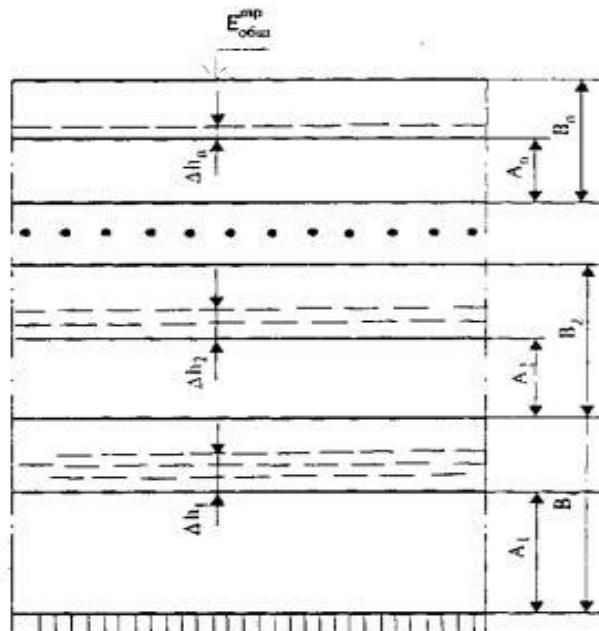


Рис. 8.1. Схема к оптимальному расчету конструкции нежесткой дорожной одежды

В оптимизационной программе Гипродорнии реализован метод последовательного анализа вариантов. Рассчитав несколько вариантов конструкций дорожной одежды, для каждого из них вычисляют дополнительно дорожно-эксплуатационные и транспортные расходы и сравнивают по чистой приведенной стоимости NPV:

$$NPV = OUTF_0 + \sum_{t=1}^{T_0} \frac{OUTF_t}{(1+R_D)^t} - \frac{OUTF'_0}{(1+R_D)^{T_0}}, \quad (8.7)$$

где NPV - чистая приведенная стоимость;

OUTF<sub>0</sub> - первоначальные инвестиции в строительство дорожной одежды;

OUTF<sub>t</sub> - текущие дорожно-эксплуатационные и транспортные расходы;

*t* - текущий год эксплуатации автомобильной дороги;

Тр - расчетный срок сравнения вариантов;

R<sub>D</sub> - коэффициент дисконтирования (см. табл. 4.9);

OUTF'\_0 - остаточная стоимость дорожной одежды.

При проектировании дорожных одежд часто приходится сравнивать равнопрочные конструкций с одинаковым типом покрытия. В этом случае при сравнении вариантов можно ограничиться лишь строительной стоимостью (первоначальными инвестициями) О UTF0. По чистой приведенной стоимости NPV сравнивают лишь конструкций с различным типом покрытия либо с различной проектной прочностью.

Наибольший экономический эффект дает проектирование оптимальных дорожных одежд в пространстве, когда конструкцию оптимизируют по длине трассы автомобильной дороги с учетом протяженности насыпей и выемок, почвенно-грунтовых, гидрогеологических условий, местоположения карьеров местных дорожно-строительных материалов, размещения производственных баз, местоположения станций доставки фондируемых материалов и т.д. Алгоритмы и компьютерные программы пространственного расчета оптимальных дорожных одежд разработаны в Ташкентском автомобильно-дорожном институте канд. техн. наук М.Л. Гольдбергом.

#### **9.4. Технология автоматизированного проектирования оптимальных дорожных одежд**

При автоматизированном проектировании оптимальных дорожных одежд нежесткого типа алгоритм расчета предусматривает, как правило, расчетную схему, включающую в себя до 10 конструктивных слоев с учетом подстилающего грунта. В случае необходимости количество конструктивных слоев может быть увеличено. Слои конструкции располагаются по убыванию (сверху вниз) модулей упругости материалов. При этом алгоритмом программы предусмотрено автоматическое исключение некоторых слоев из конструкции, если вариант с исключенным слоем оказывается дешевле всех рассмотренных вариантов при наличии слоя и при условии сохранения качества (прочности) конструкции.

Технологией автоматизированного проектирования предусмотрена также возможность обязательного наличия тех или иных конструктивных слоев, что обеспечивается заданием специальных признаков в исходной информации. Толщина отдельных слоев может быть задана по конструктивным соображениям, и эти слои в процессе поиска оптимального решения остаются неизменными.

Особое внимание при проектировании оптимальных дорожных конструкции необходимо обращать на задание минимальной и максимальной возможных толщин каждого конструктивного слоя, а также шага перебора толщины каждого слоя. Минимальную толщину назначают не менее значений, регламентированных ОДН 218.046-01. Шаг перебора назначают из условия производства и технологии выполнения работ по устройству каждого конструктивного слоя, точности устройства каждого слоя, имеющимся в наличии оборудованием, возможности обеспечения требуемого уплотнения каждого слоя и требуемой точности при приемке работ.

Задание слишком малого шага перебора приводит с одной стороны к значительному увеличению времени компьютерного проектирования и, следовательно, стоимости проектирования. С другой стороны, такая конструкция в ряде случаев не может быть реализована, так как толщины слоев не соответствуют технологическим возможностям строительной техники. Задание слишком больших значений конструктивных слоев также приводит к увеличению времени компьютерного проектирования и его стоимости. При отсутствии опыта проектирования в качестве первого приближения целесообразно брать типовые проектные решения.

Если в процессе автоматизированного проектирования получено законченное решение и толщина какого-либо слоя соответствует заданной максимальной в исходной информации, то необходимо откорректировать исходную информацию, расширив диапазон варьирования для данного слоя. При заданных исходных данных решение только тогда можно считать оптималь-

ным, когда толщина каждого конструктивного слоя получается внутри диапазона между минимальным и максимальным заданными его значениями. Исключением являются случаи, когда толщина того или иного слоя задана фиксированной.

Исходные данные для автоматизированного проектирования оптимальных нежестких дорожных одежд задают следующие:

Етр - требуемый модуль упругости дорожной одежды, МПа;

Егр - модуль упругости грунта земляного полотна, МПа;

$z_1$  - наименьшая толщина конструкции по условию морозоустойчивости, м;

Дн - расчетный диаметр следа колеса неподвижного автомобиля, см;

Дд - расчетный диаметр следа колеса движущегося автомобиля, см;

р - расчетное давление пневматика, МПа;

п - количество слоев дорожной одежды;

$A_i$  - наименьшая допустимая толщина  $i$ -го конструктивного слоя, см;

$B_i$  - наибольшая возможная толщина  $i$ -го конструктивного слоя, см;

$\Delta h_i$  - шаг перебора толщины  $i$ -го конструктивного слоя, см;

$E_i$  - модуль упругости материала  $i$ -го конструктивного слоя, МПа;

$R_i$  - расчетное сопротивление при изгибе  $i$ -го конструктивного слоя, МПа;

$t_{\text{доп},i}$  - допустимое сдвигающее напряжение в материале  $i$ -го конструктивного слоя, МПа;

$j_i$  - угол внутреннего трения материала  $i$ -го конструктивного слоя (при  $i = 0$  - угол внутреннего трения земляного полотна);

$c_i$  - сцепление материала  $i$ -го конструктивного слоя, МПа;

$y_i$  - указатель вида грунта или материала конструктивного слоя (связный, слабосвязный);

$K_i$  - стоимость единицы толщины  $i$ -го конструктивного слоя, руб/см;

№ - номер варианта конструкции дорожной одежды.

Исходную информацию для проектирования заносят предварительно в специальные бланки либо сразу в память компьютера (табл. 12.1).

Таблица 12.1.

Бланк исходной информации

Ta6n, I

Z	KD	TH	KP	N7	MT	KP	KG	ND	UN	KO	B	Z	H	A	DB	KA	BT	BO	NB	BY	SM	SN	NW	NGR	NGM	NST	NASF	HT	NPR	NADI	NDCA																																							
1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72

Tafta 3

- 11 -

Table 3

T368.4

1	KF	6	PT	11	YK	16	YK <sub>F</sub>	21	YK <sub>I</sub>	26
---	----	---	----	----	----	----	-----------------	----	-----------------	----

Эту исходную информацию вводят каждый раз в память компьютера перед началом работы программы. Оперативная исходная информация состоит из четырех таблиц, каждая из которых имеет свое смысловое содержание.

Таблицы оперативной исходной информации имеют пояснения к каждой заполняемой величине (Методические рекомендации по автоматизированному проектированию дородных одежд нежесткого типа с применением САПР-АД. - М.: Гипродорнии, 1986) и не представляют трудностей при подготовке исходных данных.

Программа Гипродорний может рассматривать одновременно неограниченное количество вариантов конструкции дорожной одежды из различных материалов конструктивных слоев. Поэтому обычно задают сразу несколько конструкций и получив, таким образом, несколько оптимальных решений сравнивают их между собой по чистой приведенной стоимости.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что представляет собой оптимальная конструкция дорожной одежды?
  2. Привести три статьи экономического эффекта автоматизированного проектирования дорожной одежды.
  3. В чем заключается особенность автоматизированного проектирования конструкции дорожной одежды.
  4. Перечислить уровни использования оптимизационных методов проектирования дорожных одежд.
  5. Какой критерий положен в основу алгоритма расчета оптимальных дорожных одежд нежесткого типа?
  6. Какому комплексу технических ограничений одновременно должна соответствовать оптимальная конструкция нежесткой дорожной одежды?
  7. В чем сущность технологии оптимизационного метода проектирования дорожных одежд нежесткого типа при автоматизированном проектировании?
  8. Какие исходные данные необходимы для расчета оптимальной дорожной одежды нежесткого

типа?

9. Какие способы назначения прочностных характеристик материалов конструктивных слоев могут быть использованы при расчете дорожной одежды?
10. Какое максимальное количество слоев может быть назначено при расчете оптимальной конструкции дорожной одежды?

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабков В.Ф., Андреев О.В. Проектирование автомобильных дорог. Ч.1. -М.: Транспорт, 1987. -368 с.
2. Бабков В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения. -М.: Транспорт, 1988. -288 с.
3. Бабков В.Ф. Ландшафтное проектирование автомобильных дорог. -М.: Транспорт, 1980. -190 с.
4. Бабков В.Ф., Безрук В.М. Основы грунтоведения и механики грунтов. -М.: Транспорт, 1986. -239 с.
5. Бойков В.Н., Федотов Г.А., Пуркин В.И. Автоматизированное проектирование автомобильных дорог (на примере IndorCAD/Road). М.: Изд-во МАДИ, 2011.
6. Бируля А.К. Эксплуатация автомобильных дорог. -М.: Транспорт, 1966. -326 с.
7. Величко Г.В., Филиппов В.В. CREDO III. Особенности трассирования в системе дороги // Автомобильные дороги. – 2004. – №5. – С. 46-50.

9. Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа. ВСН 46-83 Минтрансстроя СССР. -М.: Транспорт, 1985. –157 с.
10. Методические рекомендации по обеспечению устойчивости откосов земляного полотна при проектировании и строительстве автомобильных дорог.-М.:Союздорнии,1974.-133 с.
11. Поспелов П.И. Борьба с шумом на автомобильных дорогах. -М.: Транспорт, 1981. -88 с.
12. Основы автоматизированного проектирования транспортных сооружений [Текст]: лабораторный практикум: учебное пособие: рек. ВГАСУ / Воронеж. гос. архит.-строит. ун-т. - Воронеж: [б. и.], 2011 (Воронеж: Отдел оперативной полиграфии ВГАСУ, 2011). - 81 с.
13. Поспелов П.И., Пуркин В.И. Защита от шума при проектировании автомобильных дорог. - М.: МАДИ, 1985. -119 с.
14. Построение цифровых моделей местности с использованием программных средств CREDO III [Электронный ресурс]: лабораторный практикум/ Т.В. Самодурова [и др].- Электрон. текстовые данные.- Воронеж: Воронежский государственный технический университет, ЭБС АСБ, ISBN:978-5-7731-0768-2.2019.— 85 с.
15. Проектирование оптимальных нежестких дорожных одежд/Под ред. А.Я.Тулаева. -М.: Транспорт, 1977. -117 с.
16. Проектирование автомобильных дорог: Справочник инженера-дорожника /Под ред. Г.А.Федотова. -М.: Транспорт, 1989. -437 с.
17. Пособие по проектированию земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах (к СНиП 2.02.01-85). Союздорнии Минтрансстроя СССР.-М.:Стройиздат,1989.-192 с.
18. Пуркин В.И.Основы автоматизированного проектирования автомобильных дорог: Учеб. пособие / МАДИ (ТУ). – М.: 2000. - 141 с
19. Рекомендации по учету требований по охране окружающей Среды при проектировании автомобильных дорог и мостовых переходов. -М.: Федеральный Дорожный Департамент Минтранса РФ, 1995. -124.
20. Расчет дорожных насыпей на болотных грунтах. РСН 09-85/ Госстрой БССР. - Минск, 1985.
21. Руководство по оценке пропускной способности автомобильных дорог/Минавтодор РСФСР. -М.: Транспорт, 1982.
22. Справочная энциклопедия дорожника V том. Проектирование автомобильных дорог. Под редакцией д-ра техн. наук. проф. Г.А. Федотова и д-ра техн. наук. проф. П.И. Поспелова. Москва 2007.
23. СНиП 2.01.14-83. Определение расчетных гидрологических характеристик/ Госстрой СССР- М.: 1983.
24. СНиП 2.02.01-83. Основания зданий и сооружений. -М.: Госстрой СССР, 1983.
25. СП 34.13330.2012 Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85\* М., 2013 –139с.
26. Технические правила ремонта и содержания автомобильных дорог. ВСН 24-88 Минавтодора РСФСР. -М.: Транспорт, 1986. –198 с.
27. Указания по архитектурно-ландшафтному проектированию автомобильных дорог. ВСН 18-84 Минавтодора РСФСР. -М.: Транспорт, 1985. -47 с.
28. Указания по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах. ВСН 25-86 Минавтодора РСФСР. -М.: Транспорт, 1988. -183 с.
29. Указания по определению экономической эффективности капитальных вложений в строительство и реконструкцию автомобильных дорог. ВСН 21-83 Минавтодора РСФСР. -М.: Транспорт, 1985. -123 с.
30. Федотов Г.А. Автоматизированное проектирование автомобильных дорог. -М.: Транспорт, 1986. -317 с.
31. Филиппов В.В. Анализ и оценка проектных решений в САПР АД. -Минск: Изд-во БГУ, 1990. -64 с.
32. Филиппов В.В. Моделирование на ЭВМ движения автомобильных потоков при проектировании автомобильных дорог/ Минвуз УССР, КАДИ.-Киев, 1984. -36 с.
33. CREDO. Программный комплекс обработки инженерных изысканий, цифрового моделиро-

вания местности, проектирования генпланов и автомобильных дорог/ Научно-производственная компания “КРЕДО-ДИАЛОГ”. Т. 1-5, - Минск, 1997.

АЛЛАЕВ МАЖИД ОСМАНОВИЧ

## **СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

# **АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

## **КУРС ЛЕКЦИЙ**

для студентов направления подготовки магистров 08.04.01 –  
Строительство, программа «Проектирование, строительство  
и эксплуатация автомобильных дорог»

Пописано в печать \_\_\_\_\_ 2023 г.

Формат 60 × 84 1/16. Бумага офсетная

Печать разограф. Усл. 23,25.

Тираж 50 экз. Заказ № 130

---

Отпечатано в ИПЦ ДГТУ  
367015, г. Махачкала, пр. Шамиля, 70