

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ
АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНИЙ ІНСТИТУТ**

**ТЕОРІЯ МАШИННОГО
ПРОЕКТУВАННЯ І СИСТЕМИ
АВТОМАТИЗОВАНОГО
ПРОЕКТУВАННЯ**

(КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ)

ГОРЛІВКА 2014

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ
АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ ІНСТИТУТ**

ПІНДУС Б.І.

**ТЕОРІЯ МАШИННОГО
ПРОЕКТУВАННЯ І СИСТЕМИ
АВТОМАТИЗОВАНОГО
ПРОЕКТУВАННЯ**

(КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ)

Затверджено на засіданні методичної комісії факультету АД Протокол № від 2014 р.	Затверджено на засіданні кафедри проектування доріг і штучних споруд протокол № від 2014р.
---	---

ГОРЛІВКА 2014

Л Е К Ц И Я 1

ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Литература:

1. Г.А.Федотов. Автоматизированное проектирование автомобильных дорог. Стр. 5-34
2. Я.В.Хомяк и др. Автоматизация проектирования автомобильных дорог.

1. Понятие о системах автоматизированного проектирования

Прежде чем говорить о системах автоматизированного проектирования (САПР) напомним, что автомобильные дороги – это чрезвычайно сложные, капиталоемкие, но в то же время высоко рентабельные инженерные сооружения. Вкладывать большие средства в дорожное строительство в конечном итоге всегда выгодно. В связи с большой капиталоемкостью автомобильных дорог дорожники всегда искали пути снижения стоимости строительства, но, при этом, не в ущерб качеству проектных решений. В настоящее время в связи с резким снижением финансирования дорожного строительства вопрос повышения эффективности и качества проектных решений становится особенно актуальным.

Для поиска эффективных и качественных проектных решений зачастую приходится рассматривать десятки и сотни вариантов, отличающихся один от другого рядом показателей. Рассматривать такое большое количество вариантов традиционным способом (вручную) становится практически невозможным. Для разработки проектных решений в настоящее время широко применяются ЭВМ, что предопределило необходимость перестройки всего проектно-изыскательского дела. Современные ЭВМ, укомплектованные периферийным оборудованием, выступают, как новый, исключительный по своим возможностям аппарат познания и аппарат проектирования. При системном использовании этого аппарата инженер проектировщик добивается наиболее экономичных проектных решений при одновременном значительном улучшении транспортно-эксплуатационных качеств автомобильных дорог. Это достигается, прежде всего, широким использованием при проектировании методов математического моделирования и оптимизации проектных решений, реализация которых при традиционной технологии практически невозможна.

Ещё в начале восьмидесятых годов прошлого века были приняты ряд постановлений направленных на улучшение проектно-сметного дела, в которых предусматривался повсеместный переход на системное автоматизированное проектирование.

Уже в те годы (ещё в бывшем Советском Союзе) велись работы по созданию и внедрению в проектный процесс систем автоматизированного

проектирования (САПР) во всех ведущих отраслях народного хозяйства на базе единой серии больших ЕС ЭВМ. В частности, по автодорожному проектированию была закончена разработка и введена в эксплуатацию первая очередь систем автоматизированного проектирования автомобильных дорог (САПР-АД).

В начале девяностых в Белоруссии разработана и введена в эксплуатацию система автоматизированного проектирования автомобильных дорог, основанная на базе персональных компьютеров (САПР АД - КРЕДО), которая с успехом используется во всех республика бывшего Союза.

Накопленный в настоящее время отечественный и зарубежный опыт показывает, что применение математических методов и ЭВМ при проектировании существенно повышает технический уровень и качество проектируемых объектов при заметном снижении строительной стоимости и сокращении сроков разработки проектов.

Автоматизированное проектирование оказывается особенно эффективным, когда от отдельных расчетов на ЭВМ переходят к разработке и использованию систем автоматизированного проектирования (САПР), в которых уже взаимосвязаны все стадии проектно-изыскательских работ, начиная от сбора, обработки и представления исходной информации и заканчивая оформлением проектно-сметной документации.

Таким образом, давайте уточним, что же такое САПР? 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. Проектировщик принимает участие только 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 проектного решения, направляя проектный процесс по нужному руслу.

Главный эффект от применения САПР возникает в результате автоматизации различных творческих функций человека на ранних стадиях разработки проекта, когда вырабатываются самые принципиальные решения (например, выбор общего направления трассы автомобильной дороги, установления положения проектной линии продольного профиля и т. д.).

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

Целью создания САПР являются:

- повышение качества объектов проектирования (например разработка проектов дорог, имеющих оптически плавную трассу, органически вписыва-

вающуюся в окружающий ландшафт, обладающих высокими транспортно-эксплуатационными качествами и др.).

- снижение стоимости строительства и их материалоемкости.

- сокращение сроков проектирования, трудовых затрат, и повышения качества проектно-сметной документации.

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. Использование САПР автоматизирует трудоемкие и рутинные операции традиционной технологии (подготовка пояснительных записок, чертежей, смет, расчетов ит.д.);

- создание новой технологии производства проектно- изыскательских работ;

- совершенствование методов управления процессами проектирования;

- повышение специализации труда;

- совершенствование методов управления процессами проектирования;

- внедрение методов оптимизации проектных решений;

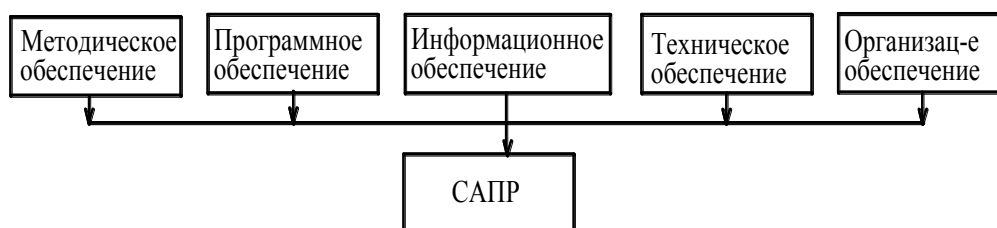
- внедрение методов математического моделирования;

- много вариантность проработки проектных решений.

Все эти факторы обеспечивают экономический эффект при автоматизированном проектировании.

2. Средства обеспечения систем автоматизированного проектирования

За последние десятилетия вычислительная техника широко применяется не только для решения отдельных задач проектирования, но и для комплексного выполнения проектных работ. В результате этого складываются новые представления о системах автоматизированного проектирования, как об организационно-технических системах. Основу этих систем составляют компоненты методического, программного, информационного, технического и организационного обеспечения.



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

Кратко остановимся на характеристике этих элементов.

Компонентами методического обеспечения являются документы, в которых полностью или со ссылками на первоисточники изложены теория, методы, способы, математические модели, алгоритмы, алгоритмические специальные языки для описания объектов, терминология, нормативы и другие данные, обеспечивающие методологию проектирования в САПР.

Теория и методы проектирования автомобильных дорог и сооружений на них в последние десятилетия получили большое развитие именно в связи с возможностью перехода на автоматизированное проектирование. Применение ЭВМ на качественно более высоком уровне реализовать основные вопросы проектирования автомобильных дорог (проектирование плана, продольного профиля, земляного полотна, дорожных одежд, искусственных сооружений, мостовых переходов, транспортных развязок), а также оценки проектных решений.

Учебники, монографии, статьи и все остальное, где изложены теория и методы автоматизированного проектирования, составляют фундамент (1-ю часть) методического обеспечения САПР.

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

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

Алгоритм отличается от метода большим совершенством и определенностью, а также формой написания, максимально приспособленной для реализации на ЭВМ. ДЛЯ ЭТОГО ИСПОЛЬЗУЮТ ЯЗЫКИ ПРОГРАММИРОВАНИЯ, понятные инженеру проектировщику и ЭВМ.

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

Проектирование автомобильных дорог всегда осуществляется в соответствии с действующими нормативными документами. В России это - государственные стандарты (ГОСТ-ы), строительные нормы (СН), строительные нормы и правила (СНиП), ведомственные строительные нормы (ВСН). В Украине – державні будівельні норми (ДБН), відомчі будівельні норми (ВБН). При проектировании также пользуются разного рода методическими указаниями и рекомендациями.

Нормативно-методическая документация составляет третью часть методического обеспечения САПР.

Методическое обеспечение в ходе эксплуатации САПР непрерывно видоизменяется в соответствии с развитием научно-технического прогресса.

Компонентами программного обеспечения САПР являются документы с текстами программ, программ на магнитных носителях информации и эксплуатационные документы, обеспечивающие функционирование системы.

Что такое программа, подпрограмма, я надеюсь, вы знаете из курса программирования!

Программное обеспечение САПР подразделяют на общесистемное и прикладное.

Компонентами общесистемного программного обеспечения являются дисковые операционные системы (ДОС), операционные системы (ОС), трансляторы и т.п.

Компонентами прикладного обеспечения являются программы, пакеты прикладных программ (ППП) и системы прикладных программ (СПП), предназначенные для получения проектных решений.

Пакеты прикладных программ – это несколько связанных между собой вычислительных программ для решения определенной задачи, когда ввод и вывод данных каждой отдельной программы должен быть согласован с остальными программами.

Системы прикладных программ, составляющие основу технологических линий проектирования (ТЛП), формируются таким образом, что связь между отдельными программами осуществляется через данные промежуточных результатов, когда результаты расчетов по одной программе автоматически используются в качестве исходной информации для расчета по другой.

Технологическая линия проектирования (ТЛП) – это связанная проектно-технологическая фаза обработки главных этапов проектирования с использованием системы прикладных программ и других вспомогательных средств проектирования с обеспечением возможности контроля и изменения данных. ТЛП – это система с вполне определенной рациональной последовательностью выполнения конструкторских, чертежных, множительных и других работ, подобная конвейеру.

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 блоки данных на машинных носителях с записью указанных документов, обеспечивающие функционирование САПР.

К информационному обеспечению САПР-АД относятся прежде всего типовые проектные решения по земляному полотну, дорожной одежде, пролетным строениям мостов и опорам, трубам, подпорным стенкам, обстановке и принадлежностям дороги, зданиям и сооружениям службы эксплуатации и т.д. Вся цифровая информация о типовых проектных решениях хранится во внешней долговременной памяти машины: на магнитных лентах (МЛ) или на

магнитных дисках (МД), к которым обеспечен оперативный доступ в процессе автоматизированного проектирования.

Компонентами технического обеспечения являются устройства вычислительной и организационной техники, средства передачи информации, измерительные и другие устройства или их сочетания, обеспечивающие функционирование САПР. Совокупность компонентов технического обеспечения образует комплекс технических средств (КТС) САПР.

Техническое обеспечение САПР представляет собой совокупность ЭВМ, децентрализованных периферийных устройств и средств связи.

ЭВМ – это центральный процессор цифровой электронно-вычислительной машины и другие её устройства. ЭВМ является центральным устройством САПР.

Децентрализованное периферийное оборудование включает в себя три группы устройств:

1-я группа – устройства ввода и вывода информации, связанные с центральным процессором: алфавитно-цифровые печатающие устройства (АЦПУ); дисплеи (устройства обмена алфавитно-цифровой, либо графической информацией на электронно-лучевой трубке); графопостроители. устройства ввода и вывода могут быть расположены около ЭВМ или далеко от них.

2-я группа – устройства сбора, регистрации и обработки данных не связанные с центральным процессором: устройства подготовки данных (перфораторы, устройства записи на магнитные носители и т.д.); аэрофотооборудование; геодезическое оборудование; инженерно-геологическое, геодезическое оборудование и т.д.

3-я группа – обслуживающие устройства: хранилища, бумагорезательные, копировальные машины и т.д.

Средства связи – это устройства, обеспечивающие связь между ЭВМ, а также между периферийными устройствами первой группы и ЭВМ. В понятие средств связи входят, кроме того, телетайпная, телефонная, радио и другие виды связи между пользователями и ЭВМ.

Компонентами организационного обеспечения САПР являются методические и руководящие материалы, положения, инструкции, приказы, штатные расписания, квалификационные требования и другие документы, обеспечивающие взаимодействие подразделений проектной организации при создании, эксплуатации и развитии САПР.

3. Принципы построения систем автоматизированного проектирования

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, концерна, отрасли, проектной организации.

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.

Принцип развития предполагает, что САПР разрабатывается и функционирует как развивающаяся система, для чего сразу предусматривают возможность наращивания и совершенствования компонентов САПР и связей между ними.

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 (искусственных сооружений, продольного профиля, оценки проектного решения по различным показателям и т.д.). В случае, если по какому-либо критерию полученное решение не устраивает проектировщика, план трассы варианта корректируется с последующим перепроектированием всех элементов дороги.

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

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.

Принцип совместимости обеспечивается использованием универсальных алгоритмических языков программирования, использованием информационно-поисковых систем широкого назначения, операционных систем, совместимых технических средств (ЭВМ единой серии, 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.

4. Технические средства САПР

Как уже отмечалось раньше, технические средства САПР представляют собой совокупность ЭВМ, децентрализованных периферийных устройств и средств связи.

ЭВМ – центральное устройство любой системы автоматизированного проектирования. К ним предъявляются очень высокие требования в части объема оперативной памяти и быстродействия, возможности работать одновременно со многими проектировщиками и другие.

Первоначально системы автоматизированного проектирования (в частности уже упомянутая САПР АД) реализовывались на базе единой системы ЕС ЭВМ. Комплекс ЕС ЭВМ, представлявших собой ЭВМ третьего поколения, имел следующие достоинства: наличие операционных систем управления работой ЭВМ и всех её периферийных устройств; возможность многопрограммной обработки (мультипрограммный режим); программную совместимость все ЭВМ этой серии; возможность объединения многих ЭВМ в единый комплекс; наличие внешних запоминающих устройств на сменных дисках с большим объемом памяти и др.

На разных этапах создания, развития и эксплуатации САПР применительно к проектированию автомобильных дорог применялись следующие модели ЕС ЭВМ: ЕС-1020, -1022, -1030, -1033, 1035, 1040.

Основные требования, предъявляемые к базовой ЭВМ для реализации проектирования автомобильных дорог на уровне развитой системы САПР АД, следующие:

- быстродействие процессора – 200 тыс. операций/сек и более;
- объем оперативной памяти – не менее 256кбайт;
- емкость внешних запоминающих устройств на магнитных дисках – не менее 50Мбайт;
- емкость внешних запоминающих устройств на магнитных лентах – не менее 120Мбайт;
- надежность – не более одного отказа за 500 часов работы;
- полная совместимость с другими моделями ЕС ЭВМ;
- возможность работы в режиме мультипрограммной обработки;
- возможность изменения структуры без прекращения эксплуатации.

Периферийные устройства включают три группы устройств: устройства ввода и вывода информации; устройства сбора, регистрации и обработки данных; обслуживающие устройства. Периферийные устройства бывают связанные с центральным процессором и не связанные. К связанным устройствам относятся:

- накопители на магнитных дисках (НМД);
- накопители на магнитных лентах (НМЛ);
- алфавитно-цифровое печатающее устройство (АЦПУ);
- устройство ввода информации с перфокарт;
- устройство вывода информации на перфокарты;

- дисплеи (ДП) – устройство обмена информацией на электронно-лучевой трубке;

-чертежно-графические автоматы или графопостроители (ГРП).

К несвязанным с центральным процессором устройствам относятся:

- устройство нанесения данных на перфокарты или перфоленты;

- устройство для подготовки данных на магнитной ленте.

Средства связи – это устройства, обеспечивающие связь: изыскательских подразделений с проектными институтами; проектных подразделений с вычислительными центрами; ЭВМ между собой при развитой сети вычислительных центров коллективного пользования; ЭВМ и периферийных устройств и т.д.

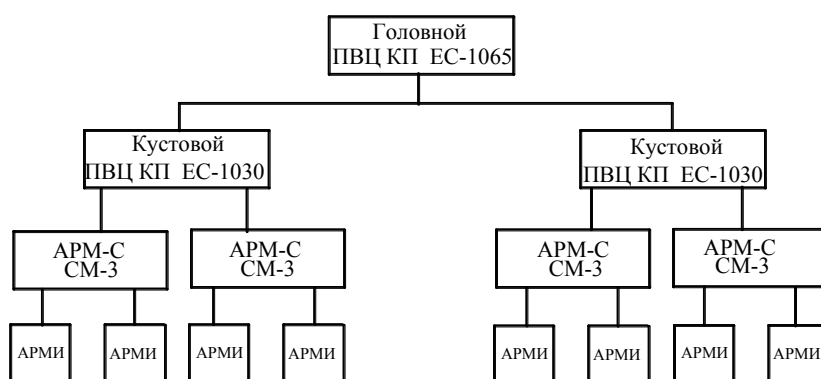
В средства связи входят: специальные каналы связи; аппаратура для передачи данных и специальное программное обеспечение; телефонная; телеграфная; радио и другие виды связи между пользователями и ЭВМ.

И, наконец, обслуживающие устройства, предназначенные для нормального функционирования САПР (хранилища, переплетные мастерские, копировальные аппараты, бумагорезательные машины и т.д.).

5. Структура технического обеспечения систем автоматизированного проектирования

Функционирование систем автоматизированного проектирования, дающих возможность комплексного решения задач проектирования, начиная со сбора исходной информации вплоть до выпуска проектно-сметной документации, возможно лишь при обеспечении оперативного доступа к средствам вычислительной техники большого количества проектировщиков в минимально короткие сроки.

Для эффективного и экономичного использования технических средств САПР ещё до недавнего времени создавались сети проектно-вычислительных центров коллективного пользования (ПВЦ КП), объединенных каналами связи и организовывались абонентские станции – терминалы этой сети на базе автоматизированного рабочего места проектировщика объектов строительства (АРМ С).



Сеть проектно-вычислительных центров коллективного пользования состоит из головного ПВЦ КП, и нескольких десятков абонентских станций, объединенных каналами связи для оперативного обмена большими массива-

ми информации. Головной ПВЦ КП, кустовые ПВЦ КП и абонентские станции размещаются в крупных городах республики, отстоящих один от другого на 300 – 100 км и более. Абонентские станции (терминалы) могут отстоять от кустовых узлов на десятки километров.

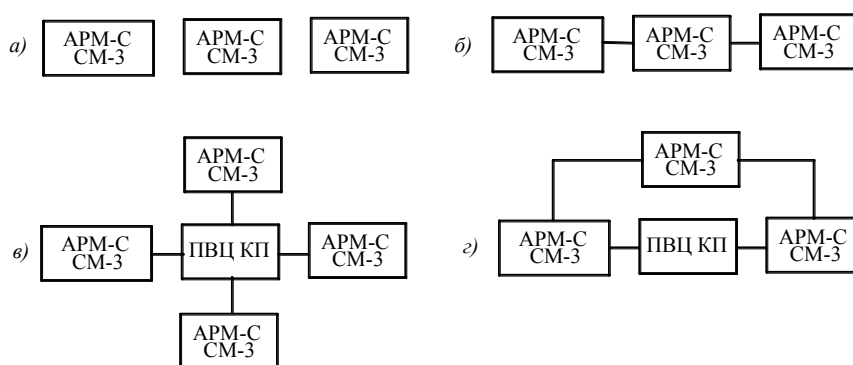
Головной ПВЦ КП был призван обеспечивать основной объем разработок программного обеспечения, адаптацию и опытную эксплуатацию разработок других ведомств, выполнение научно-исследовательских и экспериментальных работ, связанных с содержанием, развитием и эксплуатацией сети ПВЦ КП и др.

Кустовые ПВЦ КП выполняли основной объем работ по расчету и проектированию главных элементов проектируемых объектов, как в режиме пакетной обработки больших программ, так и в режиме диалога.

На абонентских станциях осуществлялась предварительная обработка массивов исходных данных для последующей передачи их в кустовой ПВЦ КП, их контроль и редактирование. Производилась обработка большого числа малых и средних программ, как в пакетном, так и в диалоговом режимах. Производился контроль и анализ результатов проектирования, получаемых с ПВЦ КП. Производилась подготовка проектно-сметной документации и т.д.

Основу для создания сети ПВЦ КП составляли ЭВМ ЕС различной мощности. Головной ПВЦ КП укомплектовывался мощной машиной типа ЕС-1065. Кустовые ПВЦ КП могли быть укомплектованы менее мощными машинами типа ЕС-1033 или ЕС-1035. На абонентских станциях использовались малые ЭВМ типа СМ-3 или СМ-4, входящие в состав комплекса технических средств АРМ-С (автоматизированного рабочего места проектировщика объектов строительства).

АРМ-С коллективного пользования могли функционировать автономно, в режиме обмена информацией, в централизованном разомкнутом и централизованном замкнутом режимах.



6. Общие принципы функционирования САПР

Создание САПР представляет собой разработку комплекса математического обеспечения и средств автоматизации, который, с одной стороны, позволяет полностью автоматизировать процесс расчетного, конструкторского и чертежно-графического решения проектных задач с использованием математических методов оптимизации и моделирования, ввода информации,

обработки данных ит.д. и, с другой, оставляет за инженером проектировщиком право оперативного вмешательства в процесс проектирования, корректировать результаты расчета и исходные данные, менять последовательность и состав проектных работ. Исходя из этого, можно сказать, что общие принципы функционирования САПР состоят в следующем:

1. Основным режимом функционирования САПР является автоматизированное решение проектных задач, при котором происходит обязательное чередование функций автоматизированного проектирования с функциями, выполняемыми инженером проектировщиком по подготовке заданий, по визуальному логическому контролю и принятию решений. Как показывает опыт автоматизированного проектирования сложных объектов строительства, ущемление функций инженера-проектировщика может привести к потере оптимальности, сбоям, ошибкам и т.д. В этом заключается первый принцип – соответствие автоматизированных функций проектирования требованиям набора запросов пользователя.

2. Математическое обеспечение САПР дает возможность решения расчетных, проектирующих и чертежно-графических задач, а также задач ввода и обработки данных как комплексно, с использованием всех функциональных возможностей САПР, так и поэтапно. Принцип комплексного использования характерен для развитых систем автоматизированного проектирования, а принцип пошагового использования – для систем в состоянии начального внедрения.

3. Система автоматизированного проектирования автомобильных дорог отличается 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 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 (ТЭО, проект – П, рабочая документация - РД).

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

В этом заключается третий принцип – принцип деления проектируемого объекта на участки проектирования и участки расчета.

4. Помимо широкого использования математических методов оптимизации проектных решений, заложенных в алгоритмы многих подсистем, САПР предусматривает также и широкую возможность эвристического подхода к тем задачам проектирования, для которых ещё не получено математическое выражение функции цели и отсутствует метод поиска её экстремума.

Проработка большого количества вариантов проектных решений дает известное приближение к оптимальному. В этом заключается обязательный в САПР четвертый принцип – принцип многовариантного проектирования.

5. Пятый принцип – 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.

6. Из сказанного выше вытекает принцип преемственности информационных массивов, передача которых возможна как непосредственно между пакетами программ и отдельными проблемными программами, так и из баз данных с внешних носителей (НМД, НМЛ) 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 получаемого результата необходимость альтернативного принятия решения в части дальнейшего хода проектирования.

8. Принцип деления на технологические блоки. Любую систему автоматизированного проектирования можно разделить на технологические блоки или технологические пакеты, каждый из которых решает строго определенную задачу.

Большинство функционирующих в настоящее время САПР АД имеют сходную структуру и идентичное распределение функций между инженером проектировщиком и ЭВМ. Они состоят из комплекса подсистем (технологических линий проектирования и пакета прикладных программ), каждая из которых автоматизирует процесс выполнения определенных операций (переработка исходной топографической, геологической и другой информации и предоставление её в виде цифровой модели местности; проектирование плана, продольного профиля, земляного полотна, дорожных одежд, искусственных сооружений; оценку проектных решений, подготовку проектно-сметной документации).

Л Е К Ц И Я 2

Современная технология проектно-изыскательских работ

Литература:

1. Г.А.Федотов. Автоматизированное проектирование автомобильных дорог. Стр. 35-61
2. Я.В.Хомяк и др. Автоматизация проектирования автомобильных дорог.

1. Особенности современной технологии изысканий автомобильных дорог

Быстрое развитие вычислительной техники предопределило качественное изменение методов и технологии производства проектно-изыскательских работ.

В соответствии со старой технологией проектно-изыскательских работ сбор исходной информации, необходимой для составления проекта, обычно производят в следующей последовательности:

Перед выездом в поле осуществляется трассирование вариантов автомобильной дороги по топографическим картам М 1:25000 – 1:10000. в редких случаях для этой цели используют материалы старых аэросъемок.

В зависимости от стадии проектирования (технико-экономическое обоснование – ТЭО, проект – П, рабочая документация РД или рабочий проект РП) рассматривают различное количество вариантов направления трассы и осуществляют сопоставление их по весьма ограниченному числу показателей (длина трассы, объем земляных работ и др.);

На стадии полевых изысканий (аэрометоды применяют крайне редко), как правило, по единственному, выбранному на стадии предварительной камеральной проработки варианту, выполняют сбор информации с использованием традиционного геодезического и инженерно-геологического оборудования; при этом выполняют трассирование, разбивку пикетажа, закрепление трассы знаками, двойное нивелирование, съемку поперечников, тахеометрическую съемку сложных мест (мостовые переходы, транспортные развязки в разных уровнях и т.д.); выполняют инженерно-гидрологические работы, инженерно-геологическое обследование по оси трассы, производят разведку местных дорожно-строительных материалов; согласовывают решения с землепользователями, заинтересованными организациями и ведомствами. Информация при традиционных изысканиях собирается на узкой полосе (60 – 200 м) вдоль априори выбранного варианта трассы.

На основе полученных в поле материалов составляют проект автомобильной дороги с использованием традиционной технологии и методов проектирования, где ЭВМ используют лишь для решения отдельных проектных задач в пакетном режиме обработки программ.

Системное, автоматизированное проектирование предопределяет обязательную многовариантность проработки основных инженерных решений (при автоматизированном проектировании рассматриваемое число вариантов на порядок больше по сравнению с традиционной технологией). Это, прежде всего, касается плана трассы, положения проектной линии продольного профиля, конструктивных элементов автомобильных дорог и т.д. Объем исходной изыскательской информации в связи с этим значительно возрастает и, учитывая сжатые сроки проектирования, эта информация не может быть получена традиционными методами производства изыскательских работ с использованием морально устаревшего геодезического оборудования.

При многовариантной проработке на уровне САПР АД большого числа возможных направлений трассы автомобильной дороги уже недостаточно информации, собираемой на узкой полосе вдоль априори принятого варианта автомобильной дороги, а необходима информация в весьма широкой полосе варьирования, где могут пройти конкурирующие варианты автомобильной дороги. Эта информация (топогеодезическая, геологическая, почвенно-грунтовая, гидрогеологическая, гидрологическая и т.д.) не может быть получена в сжатые сроки при использовании традиционных методов наземных изысканий.

Отличительными особенностями производства изыскательских работ при проектировании на уровне САПР АД являются:

Получение геодезической и другой изыскательской информации в пределах полосы варьирования трассы, ширина которой может быть особенно значительной (до $1/3$ длины трассы) на ранних стадиях проектирования, когда рассматриваются принципиальные, конкурирующие направления будущей дороги;

Широкое использование (40 – 60% от общего объема изыскательских работ) методов аэроизысканий: аэросъемочных, аэрогеодезических, аэрогеологических, аэрогидрологических и т.д.;

Применение методов наземной стереофотограмметрии (фототеодолитная съемка);

Широкое применение методов электронной тахеометрии (т.е. использование тахеометров и светодальномеров, автоматически регистрирующих результаты измерений на носители информации в виде, пригодном для непосредственного ввода в ЭВМ);

Автоматизация обработки и регистрации исходной топогеодезической информации;

Подготовка информации в виде, пригодном для оперативного использования при автоматизированном проектировании на ЭВМ, т.е. получение цифровых (ЦММ) и математических (МММ) моделей местности на полосе варьирования трассы;

Широкое применение геофизических методов при инженерно-геологических обследованиях (электро-, сейсморазведки и т.д.).

Перечисленные высокопроизводительные и точные методы сбора исходной информации позволяют получить громадную по объему информацию для проектирования автомобильных дорог в сжатые сроки.

2. Обоснование зоны варьирования конкурирующих вариантов трассы

Как было отмечено раньше, отличительной особенностью производства изыскательских работ для автоматизированного проектирования автомобильных дорог является большая ширина полосы варьирования. Размеры зоны варьирования конкурирующих вариантов трассы в большой степени определяют как объем аэро- и наземных изысканий, так и объемы проектных работ по поиску оптимального положения трассы. Назначение излишне широкой зоны варьирования приводит к неоправданному увеличению объемов проектно-изыскательских работ и сильно осложняет поиск оптимального варианта. При занижении зоны варьирования возникает опасность, что оптимальный вариант трассы может оказаться вне пределов 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 устанавливают по топографическим картам (обычно М 1:25000 – 1:10000), по материалам аэросъемок прошлых лет и по результатам воздушных обследований с учетом топогеодезических, ситуационных, геологических, гидрогеологических, почвенно-грунтовых, гидрологических и других условий. До недавнего времени в проектных институтах обоснование зоны варьирования, как правило, осуществлялось субъективно, без использования ЭВМ.

В практике проектирования автомобильных дорог за рубежом выбору зоны варьирования трассы на стадии предварительных изысканий уделяется огромное внимание. И это не случайно, поскольку при обоснованной зоне варьирования трассы в ходе последующего проектирования удается находить проектные решения, строительная стоимость которых значительно ниже стоимости вариантов, разработанных без детального обоснования зоны варьирования. При этом сокращаются трудовые затраты, сокращаются сроки выполнения проектно-изыскательских работ.

В связи с неизбежным переходом на системное автоматизированное проектирование автомобильных дорог все большее значение начинают приобретать методы аналитического обоснования зоны варьирования с использованием ЭВМ. Первый аналитический метод обоснования зоны варьирования в СССР разработан проф. МАДИ В.И.Федоровым. суть его сводится к следующему.

С использованием имеющихся топографических карт, материалов аэросъемок прошлых лет и других материалов строят предварительную модель местности (ЦММ), которой охватывается заведомо большая территория, чем

это требуется для установления наилучшего направления трассы. Обычно для этой цели используют материалы предшествующей стадии проектирования.

При подготовке предварительной ЦММ из рассмотрения сразу же исключаются объекты и участки местности, проход через которые трассы автомобильной дороги нецелесообразен или вообще невозможен. устанавливаются фиксированные точки и направления, проход трассы через которые обязателен. Рассматривают также участки местности, где в ходе трассирования могут приниматься решения обхода их или трассирования по ним. Таким участкам придаются соответствующие стоимостные значения возведения земляного полотна и устанавливаются их границы. При этом точки излома контуров и рельефа нумеруют по линиям, располагаемым поперек направления воздушной линии.

Схема

Поиск трассы на ЭВМ производят следующим образом:

Из исходной точки трассы последовательно задают направления на все впереди лежащие точки первой поперечной линии; из каждой точки первой поперечной линии задают направления на все впереди лежащие точки второй поперечной линии при условии, что они не пересекают границ запрещенных зон;

В каждый образовавшийся угол поворота трассы и в каждый перелом продольного профиля вписывают горизонтальные и вертикальные кривые минимальных радиусов. Зоны размещения кривых ограничивают концом предыдущей и последующей кривых;

Все варианты, для которых допустимые радиусы кривых в плане и профиле вписаны быть не могут, а продольные уклоны оказываются больше допустимого, из рассмотрения исключаются;

В пределах полученной зоны осуществляется перебор всех возможных вариантов с сопоставлением их 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.

Детальный сбор изыскательской информации осуществляется после этого уже только в пределах зоны варьирования наилучших вариантов трассы.

3. Аэрофотограмметрические методы сбора информации

Под аэроизысканиями понимают комплекс специальных, воздушных, наземных, полевых и камеральных работ, направленных на получение исходной топогеодезической, инженерно-геологической, гидрологической и другой информации в пределах полосы варьирования трассы для разработки проектов дорог.

Значительный опыт, накопленный в области применения аэрометодов при изысканиях автомобильных дорог, показывает их значительную эффективность по сравнению с традиционными наземными методами сбора информации как в части резкого снижения трудоемкости и сокращения сроков изысканий, так и в части широты охвата различных видов информации, необходимой для проектирования.

Методы аэрофотограмметрии, применявшиеся эпизодически и при традиционном проектировании автомобильных дорог, являются уже обязательным и наиболее важным элементом технологии изысканий при проектировании на уровне САПР АД.

Аэроизыскания автомобильных дорог состоят из аэросъемочных, аэрогеодезических, аэрогидрологических и других специальных инженерных работ. Аэроизыскания выполняют в три этапа: подготовительный, полевой и камеральный.

В подготовительный период осуществляется сбор топогеодезической информации и материалов аэросъемок прошлых лет, обосновывают полосу варьирования трассы и составляют проект производства полевых и камеральных аэрофотограмметрических работ.

В полевой период производят: наземные геодезические работы по созданию опорной сети; закрепление и маркировку точек; прокладку теодолитных ходов, различные виды аэросъемочных работ, привязку и дешифрирование аэроснимков.

В камеральный период выполняют полную обработку результатов геодезических измерений, стереофотограмметрические работы, аналитическую фототриангуляцию на ЭВМ, составляют топографические планы и цифровые модели местности (ЦММ).

Аэросъемочные работы выполняют для получения с самолета либо вертолета изображений местности, используемых при выполнении комплекса стереофотограмметрических работ для получения исходной информации о местности.

В зависимости от решаемых задач используют различные виды аэросъемок (плановую, перспективную, спектрзональную и цветную). наибольшее распространение при изысканиях автомобильных дорог получила плановая аэросъемка, с помощью которой получают информацию о ситуационных особенностях местности.

Перспективная аэросъемка используется в процессе воздушных обследований и при воздушном дешифрировании плановой аэросъемки. Кроме того, при автоматизированном проектировании автомобильных дорог перспективную аэросъемку широко используют для оценки вписывания полотна автомобильной дороги в окружающий ландшафт и для решения различных экологических проблем.

Спектрзональную аэросъемку (на цветной двухцветной аэропленке) используют для оценки почвенно-грунтовых, гидрологических условий проложения трассы, для нанесения на топооснове границ и типов земельных

угодий с последующей оценкой стоимости отвода земель под земляное полотно дороги, а также для разведки местных строительных материалов.

Цветную аэросъемку (на цветной трехслойной аэропленке) применяют в районах крупных населенных пунктов, на территориях с развитой сетью дорог, в пустынях и горных районах и т.д. в этих условиях цветная аэросъемка наиболее эффективна, поскольку передает окраску в естественных цветах.

4. Современные технические средства и методы наземных изысканий

С помощью только одних аэрометодов невозможно решить все задачи по сбору изыскательской информации для проектирования автомобильных дорог на уровне САПР АД. Требуется проведение и наземных изысканий, объем которых зависит от проектной стадии и оказывается наибольшим при рабочем проектировании.

Широкое применение аэрометодов при изысканиях автомобильных дорог обязательно требует проведения определенного объема наземных геодезических работ по созданию планово-высотного обоснования аэросъемки, геодезических работ по выносу трассы и искусственных сооружений в натуру, наземных инженерно-геологических геофизических работ, инженерно-гидрологических работ и т.д.

Применение аэрометодов иногда оказывается малоэффективным (в зимний период при мощном снеговом покрове, на залесенных территориях в летний период и т.д.). применение современных наземных методов сбора информации в этих случаях оказывается необходимым и оправданным.

В ходе изысканий автомобильных дорог на уровне САПР АД целесообразно бывает применение методов наземной стереофотограмметрии (фототеодолитной съемки).

Фототеодолитные съемки следует применять не тех участках обследуемых территорий, где применение аэрометодов либо методов электронной тахеометрии малоэффективно или затруднительно. К таким участкам местности могут быть отнесены: узкие каньёнообразные ущелья; скальные прижимы; крутые морские, речные и озерные берега; участки оползней и осыпей; застроенные территории; существующие путепроводы, мосты, транспортные развязки движения в разных уровнях; путевые развития железнодорожных станций и т.д.

Фототеодолитную съемку применяют с целью получения крупномасштабных топографических планов и цифровых моделей местности. нередко её используют также и для создания планово-высотного обоснования аэрофотосъемок.

В настоящее время фототеодолитные съемки производят главным образом с использованием инструментов Photo-19/1318 и УМК-10/1318 (ГДР). Для максимального сокращения объемов полевых геодезических работ по планово-высотному обоснованию фототеодолитных съемок в крупных проектных институтах разработаны пакеты программ для ЭВМ по созданию

планово-высотного обоснования фотограмметрическими способами при минимуме инструментальных геодезических работ.

Существенными недостатками использования при наземных изысканиях автомобильных дорог обычных геодезических инструментов (нивелиров Ni-025, теодолитов Theo-010, Data-020, светодальномеров КДГ-3, ЕОК-2000 и т.д.) являются: необходимость составления абрисов; считывание результатов измерений (высота наводки, расстояния, вертикальные и горизонтальные углы, превышения); запись отсчетов в журналы; ручная обработка результатов измерений; ручная подготовка топографических планов либо набивка результатов измерений на носители информации (перфолисты, перфокарты, магнитные ленты) для ввода в ЭВМ с целью автоматизированной подготовки плана или цифровой модели местности. Все этапы традиционных изысканий весьма многодельные и не исключают появления значительного количества ошибок.

Перечисленные недостатки традиционных изысканий автоматически снимаются при использовании методов наземной электронной тахеометрии. Электронные тахеометры и светодальномеры позволяют автоматически фиксировать результаты измерений непосредственно на носители информации (перфолисты, магнитные ленты) в виде пригодном для ввода в ЭВМ без какой-либо промежуточной обработки.

Необходимо отметить, что наметившееся расширение применения электронной тахеометрии совместно с автоматизацией обработки материалов наземных съемок и автоматизации процесса цифровой и графической регистрации результатов измерений при использовании ЭВМ и графопостроителей имеет большие перспективы и в ряде случаев успешно конкурирует с аэрометодами.

Сфера применения электронных тахеометров и светодальномеров включает: тахеометрические съемки различных участков местности; детальные разбивочные работы при строительстве; создание триангуляционных и опорных геодезических сетей для обоснования аэросъемок и наземных стереофотограмметрических съемок; прокладку магистральных ходов; тригонометрическое нивелирование и т.д.

Наибольшее распространение при наземных геодезических работах получили электронные тахеометры Red-14, Elta-2, Elta-4 (фирмы «Opton», ФРГ), Geodimeter-700, -710, -720 (фирма «AGA», Ш). ЕОТ-2000, Рекота (ГДР) и электрооптические дальномеры Distomat A-10 (фирма «Wild», Швейцария), Geodimeter-110, -112, -116, -120, 14A (фирма «AGA», Швеция).

Необходимость сбора информации при проектировании автомобильных дорог на уровне САПР АД на широкой полосе варьирования трассы потребовала изменения технологии производства инженерно-геологических работ, ибо собрать информацию о геологическом строении местности на полосе варьирования в фиксированные сроки традиционными методами (механическое бурение, шурфование, устройство расчисток и т. д.) уже не представляется возможным. Задача сбора инженерно-геологической информации на полосе варьирования трассы может быть решена лишь при комплексном ис-

пользовании аэрогеологических изысканий, традиционных инженерно-геологических методов и широким использованием методов инженерной геофизики.

Так, применение спектрозональной аэросъемки дает надежную информацию о почвенно-грунтовых и гидрогеологических условиях местности на полосе варьирования, а также информацию о месторождениях местных дорожно-строительных материалов.

Из геофизических методов разведки широкое распространение получили: вертикальное электроразведывание; профилирование по методу среднего градиента; метод радиоактивного каротажа; методы статического и динамического зондирования; методы сейсморазведки.

Геофизические методы дают возможность оперативного определения не только границ раздела различных геологических слоев, но и их состава и физико-механических свойств. Особенно надежными результаты геофизической разведки оказываются при комплексном использовании геофизических методов совместно с буровыми и горнопроходческими работами.

В настоящее время для электроразведки используют следующие приборы: измерители кажущегося сопротивления ИКС-1 и ИКС-50 и электроразведочный автокомпенсатор АЭ-72.сейсморазведку при инженерно-геологических изысканиях автомобильных дорог осуществляют с использованием прибора «Кварц».

Для определения физико-механических свойств слабых грунтов применяют ручные приборы: П-4 (пенетромтр), СК-8 (сдвигомер-крыльчатка) и другие приборы, используемые нередко в комплексе с изотопными методами определения физико-механических свойств грунтов.

Конечным итогом инженерно-геологических работ при проектировании автомобильных дорог на уровне САПР АД является получение цифровой модели геологического строения местности на полосе варьирования трассы.

Системное автоматизированное проектирование автомобильных дорог потребовало также изменения технологии инженерно-гидрологических работ. Помимо информации об инженерно-гидрологических условиях района проложения трассы, получаемой с помощью аэрометодов (тип и интенсивность руслового процесса; морфологические характеристики русел и пойм рек; скорости, расходы воды, направления течения; характеристика ледового режима и многое другое), возникает необходимость в проведении наземных инженерно-гидрологических работ с использованием точных и высокопроизводительных методов сбора информации. Весьма эффективным является использование методов наземной стереофотограмметрии при изучении морфологических характеристик русел и пойм рек при установлении уровней исторических и редких по высоте паводков по следам на местности и опросам старожилов, при обследовании существующих искусственных сооружений (труб, мостов, плотин и т.д.).

При выполнении подводных съемок рельефа дна чрезвычайно эффективным является использование при измерении глубин метода ультразвукового эхолотирования. Для этой цели широко применяют малогабаритный

эхолот «Язь» и другие. Быстрота получения информации и её точность при этом намного выше, чем для традиционных методов измерения глубин.

При проведении гидрометрических работ по определению уровней воды используют самописцы типа «Валдай», автоматически регистрирующие изменение уровней воды на бумажный носитель.

Для измерения скоростей течения и расходов воды весьма перспективным является применение электромагнитного скоростемера «Зонд». Этот прибор по всем показателям превосходит вертушки известных конструкций.

5. Цифровое и математическое моделирование рельефа и геологического строения местности

Конечным результатом топогеодезических и инженерно-геологических изысканий при проектировании автомобильных дорог на уровне САПР АД является получение цифровой модели рельефа и геологического строения местности (ЦММ) на ширине полосы варьирования трассы. По ЦММ и получаемым на их основе математическим моделям местности (МММ) в конечном итоге осуществляется системное автоматизированное проектирование все конкурирующих вариантов трассы, начиная с аналитического решения плана будущей автомобильной дороги и заканчивая оценкой проектных решений (объемы работ, строительная стоимость и приведенные затраты, эффективность капиталовложений и др.). Трудозатраты на получение с ЦММ и МММ необходимой исходной информации для проектирования сокращаются в десятки раз по сравнению с получением той же информации при использовании топографических планов и стереомоделей по традиционной технологии. ЦММ используются также для проектирования всех элементов автомобильных дорог.

Все известные ЦММ можно разделить на три группы: регулярные, нерегулярные и статистические.