

Цикл 3.
Базовые положения
теории систем

1. Основная терминология

- **Система** - комплекс элементов, находящихся во взаимодействии.
- **Системный подход** - понятие, подчеркивающее значение комплексности, широты охвата и четкой организации в исследовании, проектировании и планировании.
- **Подсистема или часть системы** - совокупность элементов (алгоритмов), объединенных единым процессом функционирования, которые, взаимодействуя, реализуют определенную операцию (программу), необходимую для достижения цели, поставленной перед системой в целом.
- **Сложная система** - собирательное название систем, состоящих из большого числа взаимоувязанных элементов. Часто сложными системами называют системы, которые нельзя корректно описать математически либо потому, что в системе имеется очень большое число различных элементов, неизвестным образом связанных друг с другом (например, мозг), либо потому, что мы не знаем природы явлений, протекающих в системе и поэтому количественно не можем их описать.
- Иногда сложными называют системы, для изучения которых необходимо решать задачи с непомерно большим объемом вычислений или перерабатывать такой большой объем информации, что для этого даже при использовании самых быстрых ЭВМ потребовалось бы много миллионов лет.

Свойства сложных систем определяются свойствами составляющих их элементов, связями между ними, структурой, архитектурой, целями подсистем.

Сложная система, в свою очередь, может быть элементом (подсистемой) более крупной системы.

Примеры сложных систем: *энергосистема, предприятия, ЭВМ, мозг человека, экономическая система страны, транспортная система города, САПР, АСУ ТП.*

- **Большая система** - это совокупность множества взаимосвязанных элементов (подсистем), отличающаяся сложностью решаемых задач. Примеры: транспортные, энергетические, информационные системы, которые можно называть - инфраструктурами.
- **Открытая система** - система, допускающая свое развитие, расширение на аппаратном и информационном уровнях.
- **Открытая система** - система, к которой подводится или от которой отводится вещество или энергия.
- **Замкнутая система** - система, к которой не подводится или от которой не отводится вещество или энергия.
- **Иерархическая система** - система, имеющая многоуровневую структуру в функциональном, организационном и в каком-либо ином отношении.
- **Иерархическая система** - система произвольной природы (технической, экономической, биологической, социальной) и назначения, имеющая многоуровневую структуру в функциональном, организационном или в каком-либо ином плане.

связь между целыми и его частями была положена в основу первых определений системы, например такого: «*система - это совокупность связанных между собой частей*».

Это, в общем-то, очевидный факт: целью объединения элементов в систему и является получение таких свойств и способностей в выполнении требуемых функций, каких нет у каждого отдельно взятого элемента:

есть **электромотор** (простое вращение);

есть **программируемый контроллер** (обработка информации).

Их соединение - **программируемый электропривод** (частотный привод).

При этом части системы могут, в свою очередь, представлять системы, тогда их называют подсистемами. Подсистема обладает свойством функциональной полноты, т.е. ей присущи все свойства системы.

- Системный подход опирается на известный **диалектический закон взаимосвязи и взаимообусловленности явлений в мире** и в обществе и требует рассмотрения изучаемых явлений и объектов не только как самостоятельной системы, но и как подсистемы некоторой большей системы, по отношению к которой нельзя рассматривать данную систему как замкнутую. Системный подход требует прослеживания как можно большего числа связей - не только внутренних, но и внешних, чтобы не упустить действительно существенные связи и факторы и оценить их эффекты.
- Системный подход к анализу и разработке систем находит применение в том или ином аспекте многими науками (системотехника, исследование операций, системный анализ и др.). Между этими науками нет четких границ, весьма часто в них используются одинаковые математические методы. Поэтому в настоящее время усилия специалистов направлены на разработку общей теории систем, использующей изоморфизм (аналогичность) процессов, протекающих в системах различного типа (технических, биологических, экономических, социальных). Общая теория систем должна стать теоретическим фундаментом системотехники и других, смежных с ней дисциплин.

3. Научные направления исследования и проектирования систем

- **Общая теория систем.** Это научное направление связано с разработкой совокупности философских, методологических, научных и прикладных проблем анализа и синтеза сложных систем произвольной природы. Считается, что общая теория систем должна представлять собой область научных знаний, позволяющую изучать поведение систем любой сложности и любого назначения.
- С философской точки зрения реальные системы неисчерпаемы в своих свойствах, и для познания действительности необходимы различные уровни абстрагирования. В данной теории используются **следующие уровни**: *символический, или лингвистический; теоретико-множественный; абстрактно алгебраический; топологический; логико-математический; теоретико-информационный; динамический; эвристический.*
- Формулировка термина «система» зависит от принятого уровня абстрагирования и не является единственной.

Системный подход реализуется в основном на следующих **фундаментальных науках**:

- **системотехника;**
- **исследование операций;**
- **системный анализ.**

Системотехника

Данная наука представляет собой направление в кибернетике, изучающее вопросы планирования, проектирования и поведения сложных информационных систем

класс систем, рассматриваемых в системотехнике:

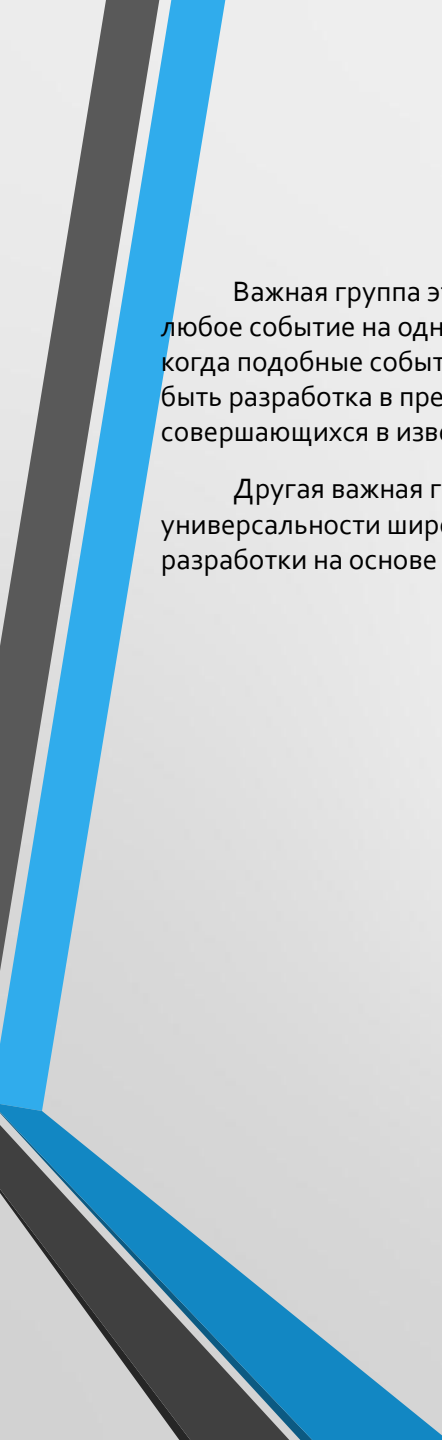
- система создается человеком из различного оборудования и сырья;
- система обладает цельностью, все ее части служат достижению единой цели;
- система является большой как с точки зрения разнообразия составляющих ее элементов, так и с точки зрения числа одинаковых частей, возможно, числа выполняемых функций и стоимости;
- система является сложной, т. е. изменение какой-либо переменной влечет за собой изменение многих других переменных, причем математическая модель системы должна быть достаточно сложной;
- система является полуавтоматической, т. е. часть функций системы всегда выполняется автоматами, а часть - человеком;
- входные воздействия системы имеют стохастическую природу, отсюда следует невозможность предсказания поведения системы для любого момента времени;
- большинство систем, и в первую очередь наиболее сложные системы, содержат элементы конкурентной ситуации.

Процесс проектирования можно подразделить на **ряд направлений**. В частности, возможны следующие деления:

- фазы (во времени) конструирования системы;
- этапы (логические) конструирования системы;
- аппарат (математический и научный) конструирования системы;
- части (функциональные) системы;
- подсистемы общей системы.

Фазы во времени конструирования : предполагается, что конструирование системы проходит в хронологическом порядке ряд определенных фаз (например, начало работы, организация рабочей группы, предварительное конструирование, основное конструирование, создание макета экспериментальной проверки, обкатка и оценка испытаний). Следует отметить, что фазы работ в значительной степени зависят от проектируемой системы и не являются одинаковыми для всех систем.

Этапы конструирования системы - это логические этапы. Они не обязательно должны выполняться в заданном порядке. *Например*, прикладные программы для управляющей вычислительной машины можно разрабатывать одновременно с изготовлением опытного образца системы.



Важная группа этапов, позволяющая успешно разделять проблему на части для анализа, основана на предположении, что любое событие на одном каком-нибудь входе и реакцию системы на это событие можно изучать изолированно от того случая, когда подобные события имеют место на двух или более входах одновременно. Из этого следует, что этапами изучения могут быть разработка в предположении единичных воздействий, разработка в предположении многократных воздействий, совершающихся в известном порядке, и разработка с учетом конкретной ситуации.

Другая важная группа этапов связана с моделированием и заменой моделью реально работающей системы. Ввиду универсальности широко используется статистическое моделирование. Высокая степень, до которой доводится процесс разработки на основе анализа и моделирования, является одной из отличительных черт системотехники.

- В качестве **аппарата** для инженера-системотехника может служить любая математическая дисциплина, но наибольшее значение имеет теория вероятностей и математическая статистика.
- **Составными частями** могут быть локальные системы и системы более высокого иерархического уровня, системы связи, системы отображения информации и др.
- **Разбиение на подсистемы** выполняется с учетом естественной структуры технологического процесса, удобства организации проектирования и других факторов. При этом следует стремиться обеспечить минимум связей между подсистемами.

Особое значение в системотехнике имеет **системный подход**, который проявляется в ряде принципов конструирования сложной системы.

- Главным, фундаментальным принципом является **принцип максимума эффективности**, точнее, максимума ее математического ожидания. Критерием эффективности является отношение (или разность) показателей ценности результатов, полученных в процессе функционирования системы, к показателю затрат на ее создание. Сложность задачи определения показателя эффективности обуславливается, в частности, тем обстоятельством, что она вытекает из задач системы более высокого уровня и задается ими. Поэтому конструктор конкретной системы должен ориентироваться в проблеме более высокого ранга, чем рассматриваемая, правильно оценивать результаты выполняемой работы. На этапе формулирования критерия эффективности необходим тесный контакт с заказчиком.
- **При оценке эффективности можно использовать** метод аналогии, метод экспертных оценок, метод прямых расчетов, метод математического моделирования и другие методы.
- С помощью принципа эффективности можно сформулировать **основной метод проектирования систем**: единая система разделяется на части по функциональному признаку, устанавливаются возможные варианты реализации этих частей, связей между ними и на заданном множестве вариантов выбирается структура системы, отвечающая требованиям максимума математического ожидания эффективности.

- **Принцип согласования (субоптимизации) частных (локальных) критериев** эффективности между собой и общим (глобальным) критерием гласит, что для оптимального функционирования системы в целом не требуется оптимизации работы каждой из ее подсистем. Для достижения общей цели должны быть согласованы между собой критерии эффективности каждой подсистемы (причем эти частные критерии могут не совпадать с частными оптимумами). В связи с этим улучшение работы одной из подсистем, не согласованное в общесистемном плане, может привести к снижению эффективности системы в целом.
- Из **принципа оптимума автоматизации** вытекает, что не все задачи, особенно для частных случаев, должны решаться автоматически. Уровень автоматизации необходимо обосновать исходя из критериев эффективности.
- **Принцип централизации информации** заключается в том, что система управления и принятия решений эффективна только в том случае, когда информация собирается, хранится и обрабатывается на основе единых массивов, единого банка данных, который может быть и децентрализованным.
- **Принцип явлений с малой вероятностью** утверждает, что основную задачу системы пересматривать нельзя, а основные характеристики системы не должны значительно изменяться для того, чтобы система оказывалось пригодной также в ситуациях, имеющих малую вероятность наступления. В настоящей главе рассмотрены только основные принципы и методы системотехники.

Исследование операций

Это **научное направление в исследовании и проектировании систем** основано на математическом моделировании процессов и явлений. Различных определений науки об исследовании операций, так же как и системотехники, существует очень много. Более того, трудно провести четкое разделение между этими науками. Полагают, что специалист по исследованию операций имеет склонность к оптимизации операций в существующих системах, в то время как специалист по системотехнике склонен к созданию новых систем.

Под операцией обычно понимают действие, осуществляемое некоторой организацией согласно определенным условиям и инструкциям, подразумевая под организацией систему, включающую в себя коллективы людей.

Часто операции являются малоэффективными из-за подмены целей в организации операций. Поэтому, как правило, работа исследователей операций начинается с анализа критерия эффективности операции. Классическим примером успешного применения исследований операций является решение вопроса о целесообразности установки зенитных орудий на торговых судах союзников во время второй мировой войны.

При исследовании операций широко используется системный подход и математическое моделирование.


Как показала практика, методы исследования операций наиболее пригодны для исследования и разработки организационных систем, однако их можно использовать и при проектировании систем управления технологическими процессами на этапе постановки целей, определения показателей эффективности составления и исследовании математических моделей.

Системный анализ

Это научное направление является методологией исследования трудно наблюдаемых и трудно понимаемых свойств и отношений в объектах, заключающейся в представлении этих объектов в качестве целенаправленных систем и изучения свойств этих систем и взаимоотношений между целями и средствами их реализации.

Исследование в системном анализе разбивается на несколько этапов.

- **На первом этапе** дается постановка задачи, которая состоит из определения объекта исследования, постановки целей, а также задания критериев для улучшения объекта и управления им. Этот этап плохо формализуется, поэтому успех определяется прежде всего искусством и опытом исследователя, глубиной его понимания поставленной проблемы. Этот этап важен, поскольку неправильная или неполная постановка целей может свести на нет результаты последующего анализа.
- **На втором этапе** очерчиваются границы изучаемой системы и ведется ее первичная структуризация. Совокупность объектов и процессов, имеющих отношение к поставленной цели, разбивается на два класса: изучаемую систему и внешнюю среду. Такое разделение происходит в результате последовательного перебора и включения в систему объектов и процессов, оказывающих заметное влияние на процесс достижения поставленных целей.



Окончание перебора может произойти прежде всего потому, что будут исчерпаны все существенные факторы. Систему в этом случае можно рассматривать как замкнутую, т. е. с известной степенью приближения, не зависящей от внешней среды.

Другая возможность ограничения системы от внешней среды основывается на том, что в ряде случаев при изучении системы можно ограничиться лишь влиянием внешней среды на систему и пренебречь (с точки зрения поставленных целей) влиянием системы на среду. При этом получаем открытую систему, поведение которой зависит от входных сигналов, поступающих из внешней среды.

Завершение процесса первичной структуризации состоит в том, что выделяются отдельные составные части - элементы изучаемой системы, а возможные внешние воздействия представляются в виде совокупности элементарных воздействий.

этом направлением является параметризация, т. е. описание выделенных элементов системы и элементарных воздействий на нее с помощью тех или иных параметров. Особую роль играют параметры, принимающие конечные множества значений. Эти параметры позволяют описать процессы и объекты, которые не могут быть охарактеризованы с помощью обычных числовых параметров, а различаются лишь косвенно.

- Параметризация изучаемой системы представляет собой лишь первый шаг в построении ее математической модели, Второй важный шаг заключается в установлении различного рода зависимостей между введенными параметрами. Характер этих зависимостей может быть любым: для количественных (числовых) параметров зависимости обычно задают в виде систем уравнений (обыкновенных алгебраических или дифференциальных); для качественных параметров используют табличные способы задания зависимостей, основанные на перечислении всех возможных комбинаций значений параметров.
- Наряду с вполне определенными функциональными зависимостями (задаваемыми однозначными функциями) в системном анализе используется различного рода вероятностные соотношения.
- Зависимости между элементами обычно являются весьма сложными и разнообразными. Описание всех этих зависимостей также весьма сложно и громоздко. Поэтому при построении математической модели обычно стремятся, по возможности, сократить это описание. Одним из наиболее употребительных приемов является разбиение изучаемой системы на подсистемы выделение типовых подсистем, установление иерархии подсистем и стандартизации связей подсистем на одних уровнях с однотипными системами на других уровнях.

- Выделение подсистем и установление их иерархии, помимо упрощения описания, преследует и другую цель: в процессе исследования уточняется первоначальная структура и параметры системы, а также окончательно определяются цели и критерии. В результате этого (третьего) этапа возникает законченная математическая модель системы описанная на формальном математическом языке.
- Задачей следующих этапов является исследование построенной модели. В отличие от классического случая для сложных систем, как правило, не удастся найти аналитического решений, позволяющего описать поведение системы в общем виде. Поэтому обычно при исследовании пользуются прямым (имитационным) моделированием изучаемой системы на ЭВМ.
- В большинстве случаев применяют метод "проб и ошибок", который, в отличие от классического случая, при системном анализе является не только основным, но, как правило, и единственно возможным, поскольку известные аналитические приемы (вариационные методы, принцип максимума Понтрягина и др.), для сложных систем, как правило, непригодны.
- Таким образом, системный анализ представляет собой методологию исследования весьма сложных и неопределенных проблем, которая может быть использована при проектировании весьма сложных АСУ ТП.

3. Стадии проектирования и состав проектной документации

Процесс создания АС представляет собой совокупность упорядоченных во времени, взаимосвязанных, объединённых в стадии и этапы работ, выполнение которых необходимо и достаточно для создания АС, соответствующей заданным требованиям.

Стадии и этапы создания АС выделяются как части процесса создания по соображениям рационального планирования и организации работ, заканчивающихся заданным результатом.

Работы по развитию АС осуществляют по стадиям и этапам, применяемым для создания АС.

Состав и правила выполнения работ на установленных настоящим стандартом стадиях и этапах определяют в соответствующей документации организаций, участвующих в создании конкретных видов АС.

Стадии	
1. Формирование требований к АС	1.1. Обследование объекта и обоснование необходимости создания АС. 1.2. Формирование требований пользователя к АС. 1.3. Оформление отчёта о выполненной работе и заявки на разработку АС (тактико-технического задания)
2. Разработка концепции АС.	2.1. Изучение объекта. 2.2. Проведение необходимых научно-исследовательских работ. 2.3. Разработка вариантов концепции АС, удовлетворяющего требованиям пользователя. 2.4. Оформление отчёта о выполненной работе.
3. Техническое задание.	Разработка и утверждение технического задания на создание АС.
4. Эскизный проект.	4.1. Разработка предварительных проектных решений по системе и её частям. 4.2. Разработка документации на АС и её части.

Стадии	
5. Технический проект.	5.1. Разработка проектных решений по системе и её частям. 5.2. Разработка документации на АС и её части. 5.3. Разработка и оформление документации на поставку изделий для комплектования АС и (или) технических требований (технических заданий) на их разработку. 5.4. Разработка заданий на проектирование в смежных частях проекта объекта автоматизации.
6. Рабочая документация.	6.1. Разработка рабочей документации на систему и её части. 6.2. Разработка или адаптация программ.

Стадии	
7. Ввод в действие.	7.1. Подготовка объекта автоматизации к вводу АС в действие. 7.2. Подготовка персонала. 7.3. Комплектация АС поставляемыми изделиями (программными и техническими средствами, программно-техническими комплексами, информационными изделиями). 7.4. Сборочно-монтажные работы. 7.5. Пусконаладочные работы. 7.6. Проведение предварительных испытаний. 7.7. Проведение опытной эксплуатации. 7.8. Проведение приёмочных испытаний.
8. Сопровождение АС	8.1. Выполнение работ в соответствии с гарантийными обязательствами. 8.2. Послегарантийное обслуживание

При проектировании заказных устройств, относящихся к созданию АС, можно руководствоваться общемашиностроительными ГОСТами, в частности [ГОСТ 2.103-68](#) "Стадии разработки".

Стадия разработки конструкторской документации	Этапы выполнения работ
Техническое задание	<p>Подбор материалов.</p> <p>Разработка технического предложения с присвоением документам литеры «П».</p> <p>Рассмотрение и утверждение технического предложения.</p>
Эскизный проект	<p>Разработка эскизного проекта с присвоением документам литеры «Э».</p> <p>Изготовление и испытание макетов (при необходимости).</p> <p>Рассмотрение и утверждение эскизного проекта.</p>
Технический проект	<p>Разработка технического проекта с присвоением документам литеры «Т».</p> <p>Изготовление и испытание макетов (при необходимости).</p> <p>Рассмотрение и утверждение технического проекта.</p>
Рабочая конструкторская документация:	<p>Разработка конструкторской документации, предназначенной для изготовления и испытания опытного образца (опытной партии), без присвоения литеры.</p>

а) опытного образца (опытной партии) изделия, предназначенного для серийного (массового) или единичного производства (кроме разового изготовления)

Изготовление и предварительные испытания опытного образца (опытной партии).
Корректировка конструкторской документации по результатам изготовления и предварительных испытаний опытного образца (опытной партии) с присвоением документам литеры «О».
Приемочные испытания опытного образца (опытной партии).
Корректировка конструкторской документации по результатам приемочных испытаний опытного образца (опытной партии) с присвоением документам литеры «О1».
Для изделия, разрабатываемого по заказу Министерства обороны, при необходимости, - повторное изготовление и испытания опытного образца (опытной партии) по документации с литерой «О1» и корректировка конструкторских документов с присвоением им литеры «О2».

б) серийного (массового) производства


Изготовление и испытание установочной серии по документации с литерой «О1» (или «О2»).
Корректировка конструкторской документации по результатам изготовления и испытания установочной серии, а также оснащения технологического процесса изготовления изделия, с присвоением конструкторским документам литеры «А».
Для изделия, разрабатываемого по заказу Министерства обороны, при необходимости, - изготовление и испытание головной (контрольной) серии по документации с литерой «А» и соответствующая корректировка документов с присвоением им литеры «Б»

Допускается исключить стадию «Эскизный проект» и отдельные этапы работ на всех стадиях, объединять стадии «Технический проект» и «Рабочая документация» в одну стадию «Технорабочий проект». В зависимости от специфики создаваемых АС и условий их создания допускается выполнять отдельные этапы работ до завершения предшествующих стадий, параллельное во времени выполнение этапов работ, включение новых этапов работ.

Имеются две группы стандартов, ориентированных непосредственно на проектирование автоматизированных систем. Это группа Т52: «Система технической документации на АСУ» и группа П87: «Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы», которые образуют «Единый комплекс стандартов автоматизированных систем» (ЕКС АС).

В руководящем документе [РД 50-682-89](#) этого комплекса устанавливаются назначение, область действия, структура и положение по созданию этого комплекса.

[РД 50-682-89](#) позволяет правильно ориентироваться в структуре ГОСТов по автоматизированным системам.

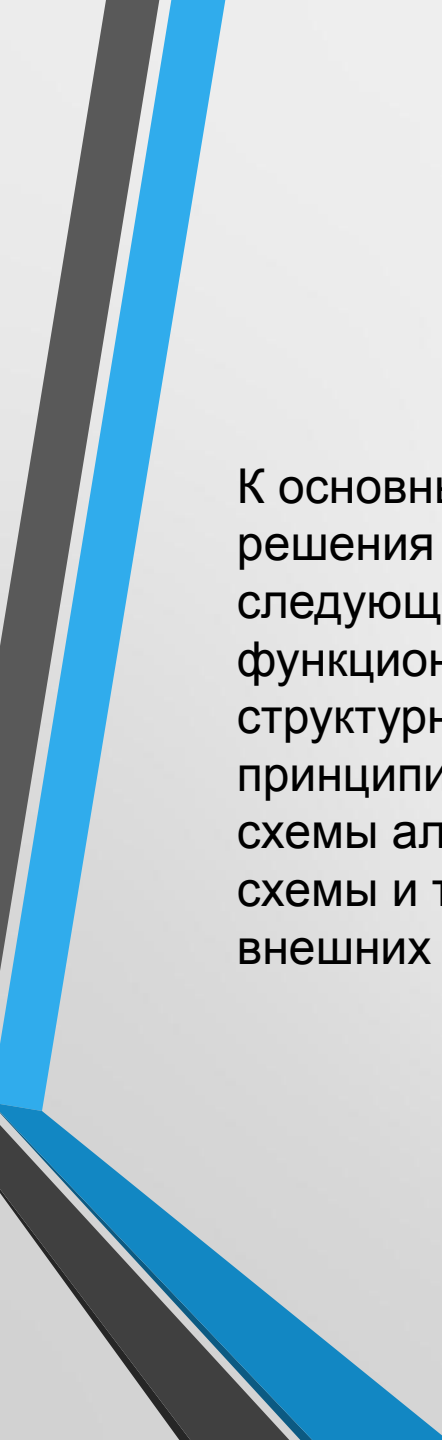


Назначение ЕКС АС заключается в установлении единых правил и требований, выполнение которых обеспечивает:

- необходимые технический уровень, качество и эффективность функционирования создаваемых АС;
- сокращение затрат и сроков создания АС;
- совместимость различных видов АС и их составных частей;
- типизацию и унификацию в АС, внедрение промышленных технологий создания АС и их составных частей;
- упорядочение процесса создания, развития и функционирования АС.

Документы, входящие в ЕКС АС, **должны устанавливать:**

- терминологию АС;
- классификацию АС и их составных частей;
- порядок создания, функционирования и развития АС;
- требования к составу и содержанию технической документации на АС;
- основные положения и требования к АС в целом;
- технические требования к составным частям АС, создаваемым как продукция производственно-технического назначения;
- требования к интерфейсам, протоколам обмена информацией и другим средствам, обеспечивающим совместимость составных частей АС, а также взаимосвязь различных АС между собой;
- показатели технического уровня и качества АС, методы контроля и испытания систем;
- требования к типовым и унифицированным проектным решениям АС.



К основным схемам, описывающим проектные решения на создание АС, можно отнести следующие схемы:

функциональные схемы автоматизации;

структурные схемы автоматизации;

принципиальные схемы автоматизации;

схемы алгоритмов АСУ ТП;

схемы и таблицы соединений и подключения внешних проводок.



