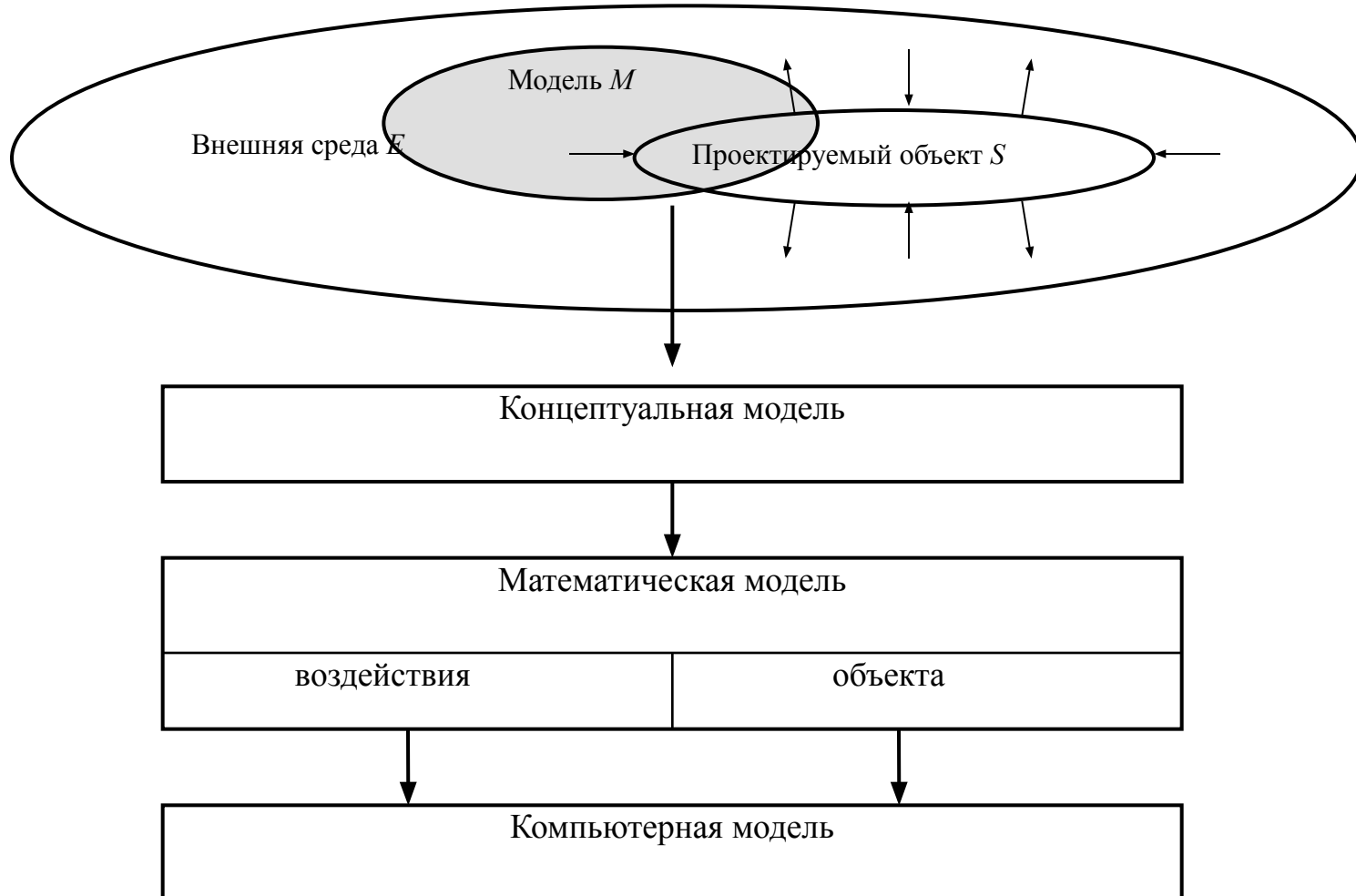


# Модели РЭС

Моделью какого-либо объекта является объект другой физической природы, имеющий свойства, связи, характеристики, подобные имеющимся в моделируемом объекте.



Внешняя среда проектируемого РЭС – это 1) естественная (природная и созданная человечеством) среда, в которой РЭС эксплуатируется, и 2) другие РЭС, с которыми оно взаимодействует.

**Концептуальная модель** является описательной моделью. Она содержит концепцию построения проектируемого объекта, его производства и эксплуатации и определяет характеристики, отражающие взаимодействие объекта с внешней средой. Концептуальная модель является основополагающей для дальнейших этапов проектирования РЭС.

**Математическая модель** получается в результате формализации концептуальной модели. Внешняя среда отображается **математической моделью воздействия**, а объект проектирования – **математической моделью объекта**. Одной и той же концептуальной модели могут соответствовать несколько математических моделей в зависимости от цели моделирования и требуемой точности.

**Компьютерная модель** представляет собой совокупность прикладной программы, составленной по математической модели, и системных программ обслуживания вычислительного процесса, индикации результатов вычислений и общения человека с машиной (человеко-машинного интерфейса).

# Концептуальная модель РЭС

Концептуальная модель РЭС – это содержательное описание проектируемого РЭС и взаимодействия его с внешней средой. Используются разнообразные неформальные способы описания: текст, графики, диаграммы, схемы и т.п.

Концептуальная модель должна отвечать требованиям полноты и адекватности. **Полнота** модели означает, что в ней отражены в достаточной мере все характеристики и особенности системы, которые влияют на выполнение технического задания. Модель **адекватна** техническому заданию, если в ней предусмотрены меры, позволяющие выполнить ТЗ.

Полнота и адекватность концептуальной модели относительны и зависят от объема информации, имеющийся об объекте проектирования. Если этот объем минимальный, что может быть при проектировании новых РЭС, то модель носит вербальный характер, содержит четко сформулированную задачу, решаемую РЭС, тактико-технические характеристики, ограничения, связанные с взаимодействием РЭС с внешней средой и др. Помимо словесного содержательного описания должен быть разработан начальный вариант структурной и функциональной схем РЭС.

При модернизации РЭС концептуальная модель строится, как правило, на основе прототипа с внесением тех изменений, которые обеспечат лучшие показатели работы проектируемой РЭС по сравнению с прототипом.

Чаще всего о концептуальной модели говорят на уровне системотехнического проектирования, но ее существование подразумевается и на других уровнях. Форма представления концептуальной модели зависит от уровня проектирования.

Концептуальная модель РЭС на уровне **системотехнического проектирования** составляется на основе анализа ТЗ и предложений по его выполнению. Она состоит из текстовой части, отражающей требования ТЗ и структурной схемы РЭС, которая должна давать наглядное представление об основных частях изделия и их взаимодействии. На этом уровне обязательно проведение патентного поиска.

На уровне **схемотехнического проектирования** концептуальной моделью является начальный вариант электрической принципиальной схемы, описание ее работы, выбор и обоснование элементной базы, других компонентов. При составлении этой принципиальной схемы разработчик опирается на свой опыт работы, а также широко использует сведения из различных доступных источников. Обязательна проверка патентной чистоты.

Концептуальная модель на уровне **конструкторского проектирования** –это зрительный образ будущего изделия: его внешний вид, общая конструкция, составные части и способ их объединения и т. д. Определяются тип конструктива, принципы обеспечения теплового режима, электромагнитной совместимости, реализация печатных плат: однослойные, многослойные и др. Концептуальная модель должна составляться на основе конструкторских аналогов, соответствующих лучшим отечественным и зарубежным образцам, с учетом возможностей предприятия-изготовителя.

На уровне **технологического проектирования** должна быть выбрана технология изготовления изделия, определено необходимое оборудование, оснастка и пр. Выбор концептуальной модели в основном определяется возможностями предприятия, его подрядчиков и поставщиков.

# Математическая модель РЭС

Для одного и того же РЭС можно составить множество моделей в зависимости от решаемой задачи и требуемой точности.

Можно выделить три типа математических моделей, используемых в проектировании, в порядке возрастания их сложности:

1. модель потенциальной достижимости,
2. модель начального варианта и
3. модель компьютерного анализа.

*Модель потенциальной достижимости* связывает между собой основные показатели работы РЭС и его параметры. Она используется для определения граничных значений некоторых параметров РЭС, необходимых для выполнения ТЗ.

Примером такой модели является формула для потенциальной ошибки измерения задержки, используемая в радиолокации:

$$\sigma_{\tau}^2 = \frac{1}{\Delta f \left( \frac{2E}{N_0} \right)}.$$

Она показывает, какой должна быть ширина спектра сигнала  $\Delta f$  и отношение сигнал/шум  $2E/N_0$ , чтобы обеспечить заданную дисперсию измерения задержки.

Далеко не для всякой задачи проектирования можно найти модель потенциальной достижимости.

**Модель начального варианта** предполагает использование простейших моделей элементов, входящих в РЭС, позволяющих провести приближенный расчет РЭС, пользуясь калькулятором. Например, модель транзистора содержит три элемента.

В **модели компьютерного анализа** используются по возможности полные модели элементов, обеспечивающие точный анализ РЭС. Модель того же транзистора содержит десятки составляющих ее элементов.

Пользователь ППП освобождается от составления такой модели, так как в пакете предусмотрены средства для автоматического составления ее при задании пользователем требуемых исходных данных.

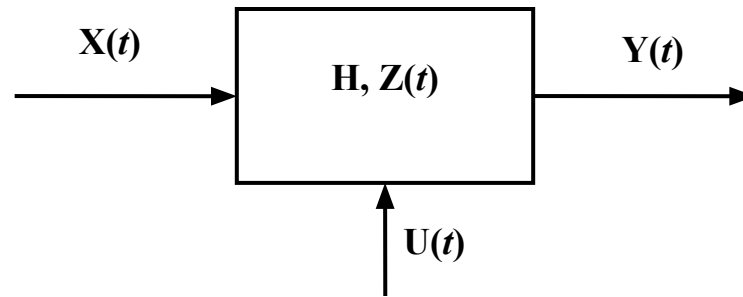
В зависимости от цели, которая ставится перед математической моделью, можно выделить две группы моделей: модели функционирования и модели установившегося состояния. Первые позволяют исследовать процессы, происходящие в РЭС, вторые – рассчитать какие-либо характеристики или показатели РЭС.

Модели установившегося состояния используются при анализе полей: электромагнитного, электрического, теплового.

В конструировании РЭС при решении задач компоновки элементов и трассировки печатных плат используются математические модели размещения.

В общем виде модель функционирования РЭС можно представить как некоторую математическую структуру, связывающую входные и выходные процессы.

Например, для непрерывного РЭС



Все процессы многомерные:

$\mathbf{X}(t) = \{x_1(t), x_2(t), \dots, x_m(t)\}$  – входной сигнал;

$\mathbf{Y}(t) = \{y_1(t), y_2(t), \dots, y_n(t)\}$  – выходной сигнал;

$\mathbf{U}(t) = \{u_1(t), u_2(t), \dots, u_k(t)\}$  – помеха;

$\mathbf{Z}(t) = \{z_1(t), z_2(t), \dots, z_l(t)\}$  – состояние.

Математическая структура характеризуется массивом коэффициентов

$$\mathbf{H} = \{h_1, h_2, \dots, h_r\}.$$



Большинство моделей функционирования строятся по математическим схемам. Математические схемы классифицируются в зависимости от типа сигналов и их обработки.

Ограничимся двумя типами сигналов: аналоговыми (непрерывными), которые могут принимать любые значения, и цифровыми (бинарными), принимающими два уровня – 0 и 1, и двумя видами обработки: детерминированной и случайной. Четырем возможным сочетаниям соответствуют четыре математических схемы:

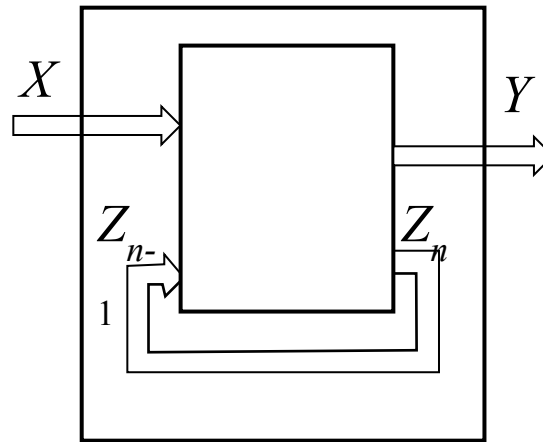
- детерминированная обработка аналоговых сигналов – *D*-схема,
- детерминированная обработка бинарных сигналов – *F*-схема,
- случайная обработка бинарных сигналов – *P*-схема,
- случайная обработка аналоговых сигналов – *Q*-схема.

***D*-схема:** аналоговые сигналы обрабатываются по детерминированным законам.

По *D*-схеме строятся математические модели узлов и устройств аналоговой схемотехники, систем автоматического управления и других систем, которые называют динамическими. От слова dynamic (динамический) и произошло название схемы. Используемый математический аппарат – дифференциальные уравнения. Выходной сигнал однозначно связан с входными сигналами нелинейным дифференциальным уравнением:

$$Y'(t) = F\{H, Y(t), X(t), U(t), t\}$$

**F-схема:** цифровые двоичные сигналы обрабатываются по детерминированным законам. По F-схеме строятся модели цифровой схемотехники: комбинационных устройств, узлов ЦВМ, формирователей двоичных последовательностей и пр. Многие из них являются конечными автоматами, содержащими элементы памяти (триггеры). По названию «конечный автомат» (finite automat) и названа схема.



В цифровых схемах с памятью выходной сигнал зависит как от входного, так и от состояния триггеров. Связь между ними устанавливается функцией переходов  $\varphi(z, x)$ ; функцией выходов  $\psi(z, x)$ :

$$Z[n] = \varphi(Z[n-1], X[n]),$$

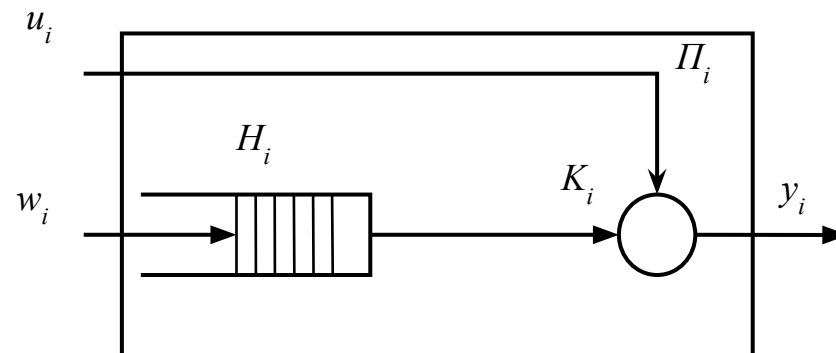
$$Y[n] = \psi(Z[n], X[n]).$$

Эти уравнения булевы В F-схеме считается, что помеха  $U[n] = 0$ .

**P-схема:** цифровые двоичные сигналы обрабатываются по вероятностным законам. В отличие от F-схемы вместо функций перехода и выхода вводится матрица вероятностей перехода  $M$ , которая любой паре значений  $X, Z$  ставит в соответствие с определенной вероятностью пару значений  $Z, Y$ . Такая схема применима к вероятностным (стохастическим) автоматам (probabilistic automat).

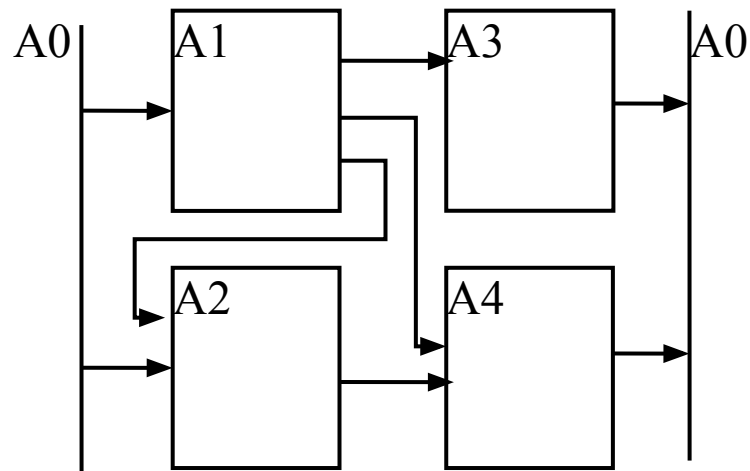
Вероятностные автоматы могут использоваться как генераторы марковских последовательностей.

**Q-схема:** непрерывные сигналы обрабатываются по вероятностным законам. Название схемы произошло от англ. queueing system – система массового обслуживания. Характерным для работы таких систем является случайное появление заявок (требований) на обслуживание и завершение обслуживания в случайные моменты времени, т.е. стохастический характер процесса их функционирования.



В любом элементарном акте обслуживания можно выделить две основные составляющие: собственно обслуживание заявки и ожидание обслуживания. Прибор обслуживания  $\Pi_i$  состоит из накопителя заявок  $H_i$ , в котором может одновременно находиться  $l_i$  заявок,  $L_{iH}$  – емкость  $i$ -го накопителя, и канала обслуживания заявок  $K_i$ . На каждый элемент прибора обслуживания поступают потоки событий: в накопитель  $H_i$  – поток заявок  $w_i$ , на канал  $K_i$  – поток обслуживаний  $u_i$ .

Для математического моделирования сложных информационных систем используется агрегативная схема (**А-схема**). Математическая модель представляется в виде соединения агрегатов. Агрегат – это математический объект, имеющий конечное число входных и выходных переменных. Входные переменные поступают на агрегат в дискретные моменты времени. При поступлении входной переменной состояние агрегата изменяется скачком. В промежутке между поступлением входных переменных состояние системы определяются собственными законами агрегата.



# Компьютерная модель РЭС

Компьютерная модель РЭС - это программный продукт, позволяющий провести исследование РЭС путем вычислительного эксперимента. Компьютерная модель состоит из прикладной программы РЭС, составленной на основе математической модели, и обслуживающих программ, обеспечивающих выполнение прикладной программы и представление результатов моделирования в удобной для пользователя форме.

Компьютерные модели делят на два вида: аналитические и имитационные. Аналитическая модель описывается математическим выражением, позволяющим сразу найти искомые переменные. Имитационная модель описывается совокупностью математических выражений, выполняющихся последовательно в том же порядке, в каком происходит обработка процессов в моделируемой системе. Можно сказать, что имитационная модель является компьютерной копией моделируемой системы.

Аналитическая модель используется при расчете частотной и переходной характеристик линейных систем, характеристик и параметров полей, антенных устройств, устройств СВЧ и т. п. К аналитическим относятся и модели размещения и перестановок, использующиеся в конструкторском проектировании.