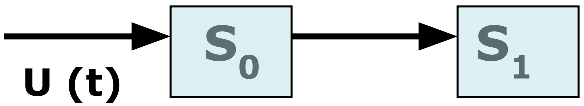
Раздел 2. Методология системных исследований

2.1.Принципы подходов к моделированию систем

1. Структурный подход

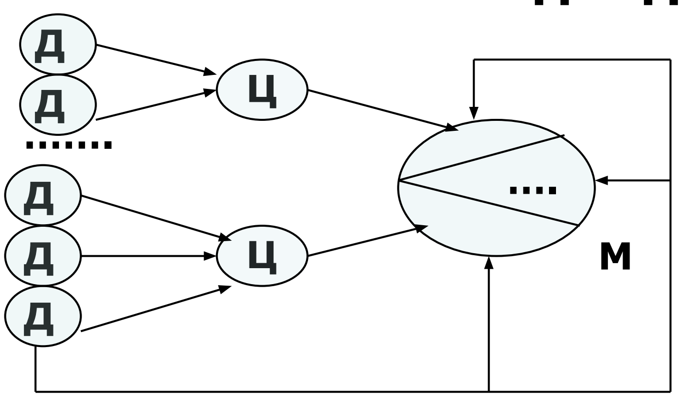
Пример - структура доменной печи. Предполагает структурную (физическую) завершенность.

2. Функциональный подход

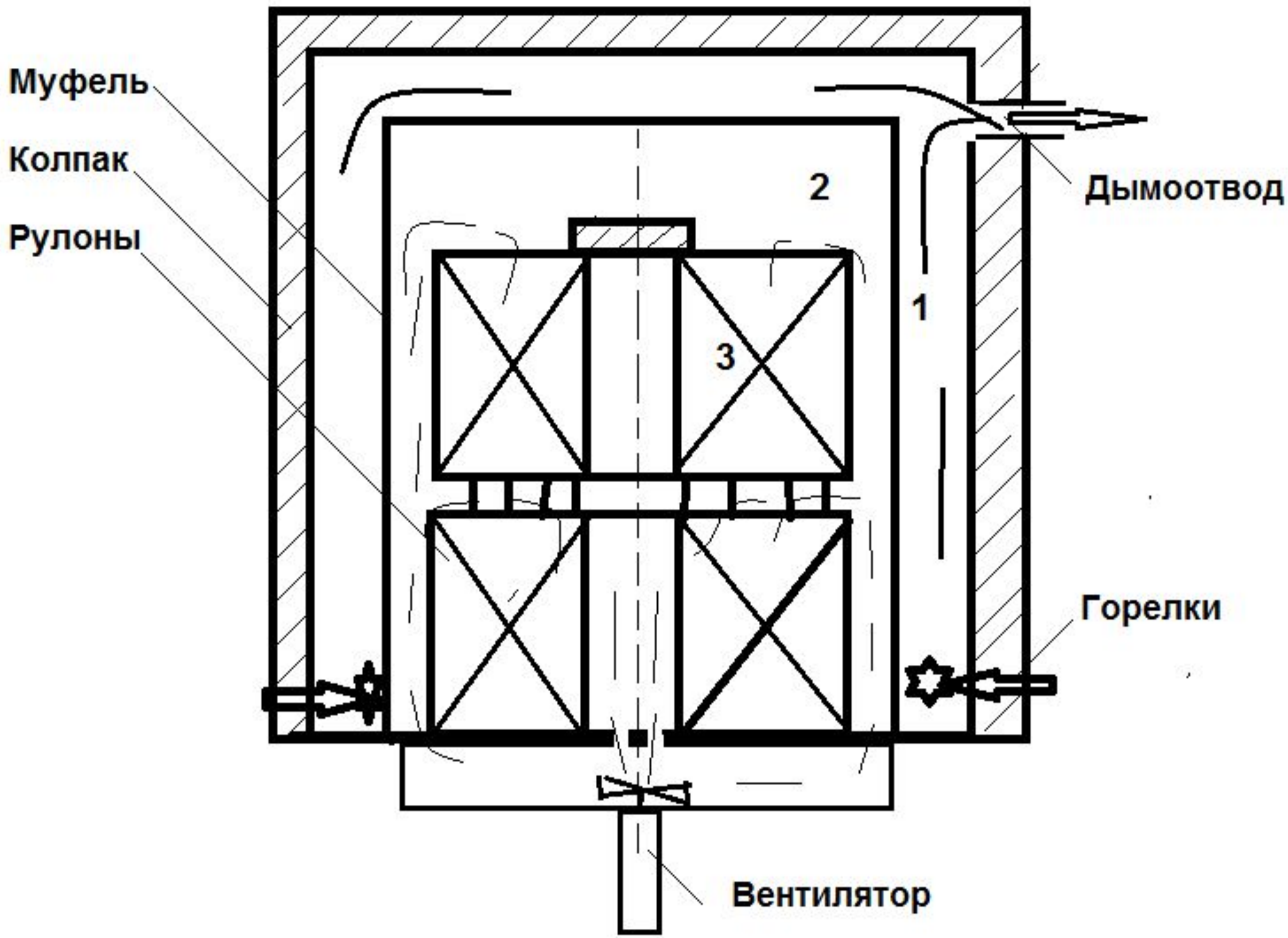


S_0 – начальное состояние системы, характеризующееся набором состояний $s_1(t_0)....s_n(t_0)$;
S_1 – конечное состояние системы, характеризующееся набором состояний $s_1(t_1)....s_n(t_1)$;
$U(t) = [U_1(t).......U_m-(t)]$ - вектор управляющего воздействия

3. Классический подход



Реальный объект $\Longrightarrow$ отдельные подсистемы (Д) $\Longrightarrow$ постановка цели (Ц) $\Longrightarrow$ компоненты М(к) модели $\Longrightarrow$ модель

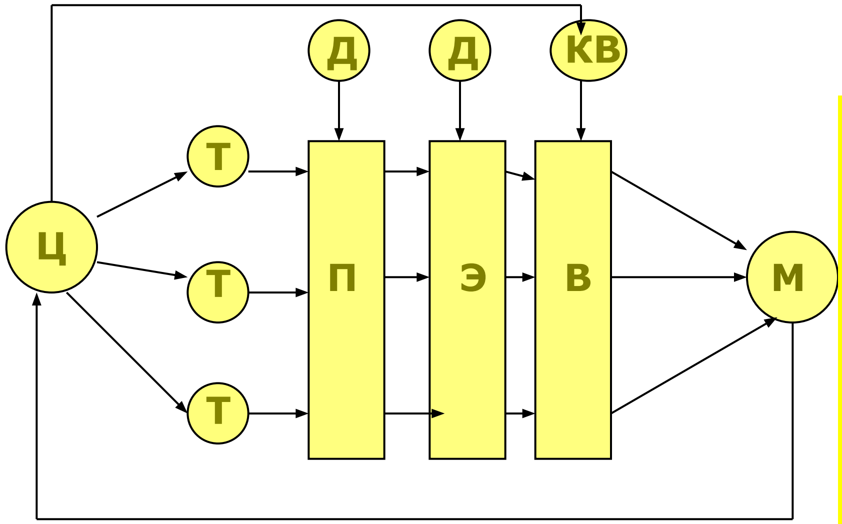


Колпаковая газовая печь

Принципы подходов к моделированию систем (продолжение)

Отличительные особенности *классического подхода*:
-Движение от частного к общему;
- модель образуется суммированием отдельных компонентов;
- не учитывается возникновение нового системного эффекта

4. Системный подход



Цель (Ц) ⟹ формулировка исходных требований (Т) к модели ⟹ с учетом исходных данных (Д), накладываемых сверху ограничений и возможности реализации формулируются элементы (Э) и подсистемы (П) модели ⟹ выбор (КВ) на основе специальных критериев составляющих системы.

Пример: скорость нагрева металла при ограничениях на расход топлива, образование NO_x, толщину окалины и т.д.

Общая характеристика проблемы моделирования систем

Эксперимент: физический, математический (численный, вычислительный), активный, пассивный и т.д.

Аналогия - это разные по природе, но одинаковые с точки зрения описания явления

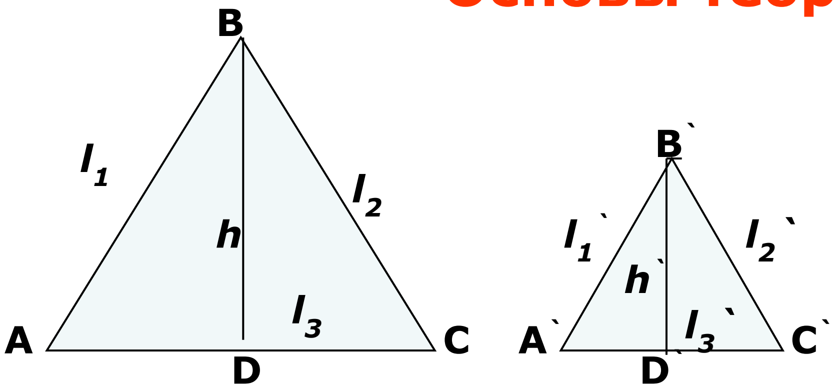
$$J = \frac{U}{R} = \frac{\Delta U}{R};$$

$$q = \frac{\Delta T}{R_{вн}} = \frac{\Delta T}{S/\lambda}$$

Модель – явление (процесс, система) имеющая соответствие, базирующееся на общем качестве, которое характеризует реальный процесс.

Основой моделирования является *теория подобия.*

Основы теории подобия



Из геометрического подобия

$$\frac{l_1}{l_1^{`}} = \frac{l_2}{l_2^{`}} = \frac{l_3}{l_3^{`}} = \frac{h}{h^{`}} = C_l$$

$$L_1 = \frac{l_1}{h}; L_2 = \frac{l_2}{h}; L_3 = \frac{l_3}{h} \qquad L_1^{`} = \frac{l_1^{`}}{h^{`}}; L_2^{`} = \frac{l_2^{`}}{h^{`}}; L_3^{`} = \frac{l_3^{`}}{h^{`}}$$

$$L_1 = L_1^{`}; L_2 = L_2^{`}; L_3 = L_3^{`}; H = H^{`} = 1$$

Первая теорема подобия

У подобных явлений безразмерные одноименные (сходственные) параметры численно равны друг друга

Основы теории подобия (продолжение)

$$l_1^2 = \sqrt{h^2 + (l_3/2)^2} \qquad (l_1^`)^2 = \sqrt{(h^`)^2 + (l_3^`/2)^2}$$

$$L_1^2 = \sqrt{1 + (L_3/2)^2} \qquad (L_1^`)^2 = \sqrt{1 + (L_3^`/2)^2}$$

Вторая теорема подобия Бакингема

Безразмерные уравнения, описывающие подобные явления, тождественны друг другу

Третья теорема подобия Кирпичева – Гухмана

Подобными будут те явления, которые описываются тождественными безразмерными уравнениями и критерии подобия которых, составленные из условий однозначности численно равны друг другу.

Характеристика моделей систем

Для моделей сложных организационно-технических систем характерны:

-цель;
- сложность;
- целостность;
- неопределенность;
- поведенческая страта;
- адаптивность;
- организационная структура;
-управляемость;
- возможность развития

Классификация видов моделирования систем

Этапы моделирования систем

<u>Декомпозиция модели</u>

Р.Беллман «…искусство исследователя как раз и состоит в том, чтобы добиться компромиса между западней переупрощения и болотом переусложнения».

<u>Структура модели</u>

$$S(\tau) = S\{X_{0,\tau}, S(\tau_0), [\tau_0, \tau]\}$$

$$Y(\tau) = F\{X_{0,\tau}, S(\tau_0), [\tau_0, \tau]\}$$

Здесь

S – **оператор перехода;**

F - **оператор выхода;**

$S(\tau)$ – **состояние системы в момент времени** τ

$Y(\tau)$ **- выход из системы в момент времени** τ

Этапы моделирования систем (продолжение)

Стационарные модели

$$\frac{dS}{d\tau} = \frac{dF}{d\tau} = 0$$

Нестационарные модели

$$\frac{dS}{d\tau} = \frac{dF}{d\tau} \neq 0$$

Линейные модели – это модели, обладающие свойствами однородности, аддитивности и суперпозиции.

$$F\{kX_{0,\tau}kS(\tau_0),[\tau_0,\tau]\} = kF\{X_{0,\tau}S(\tau_0),[\tau_0,\tau]\}$$

$$Y(\tau) = Y(\tau_1) + Y(\tau_2)$$

Принцип суперпозиции – реакция системы на сумму входных сигналов равна сумме реакций системы на эти входные сигналы в отдельности

Пример - уравнение теплопроводности

$$q = \lambda \frac{dT}{dx}$$

Этапы моделирования систем (продолжение)

Нелинейные модели – не подчиняются принципу суперпозиции

Пример: закон Стефана – Больцмана $$q = \varepsilon \sigma_0 T^4$$

Непрерывные модели – у которых состояние $S(\tau)$ и $Y(\tau)$ выходные параметры являются непрерывными как во времени, так и в пространстве.

Дискретные модели - модели, в которых хотя бы одно их множества состояний S, выходных параметров Y дискретны во времени

Идентификация математических моделей

Параметрическая идентификация - это определение численных значений параметров, которые точно не известны, по результатов сопоставления результатов расчетов с экспериментальными данными.

Критерий идентификации

$(Y_{эксп} – Y_{расч})^2$ □ min

Вычислительный эксперимент при моделировании систем

1 этап – разработка математической модели (инженер)

2 этап – разработка вычислительного алгоритма (консультации математика)

3 этап – разработка программы для ЭВМ (математики – программисты, программно-ориентированные комплексы, пакеты прикладных программ)

4 этап – отладка и тестирование составленной программы (оценка ошибок, быстродействия и надежности выбранного алгоритма).
Отладка занимает 50...90% времени.
Непременное условие: адаптация модели, оценка ее адекватности реальному процессу

Этап 5 – вычислительный эксперимент на ЭВМ с целью изучения, прогнозирования, оптимизации сложных многопараметрических процессов.

Этап 6 - анализ результатов, уточнение вычислительных экспериментов, разработка рекомендаций