

## Саламатов Ю.П. МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИДЕАЛЬНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ.

### 1. Общее определение идеальности.

Производимые технические системы (ТС) – это точки для построения кривой изменения идеальности в процессе развития данной ТС. Каждая ТС имеет свой уровень идеальности. До сих пор в ТРИЗ говорили о том насколько "меньше" или "больше" идеальность данной ТС. Необходимо ввести количественный показатель для определения идеальности.

ТС - это структура, которая характеризуется некоторой суммой конструктивных, энергетических, технологических параметров, предназначенная для выполнения определенной главной полезной функции (ГПФ) или суммы функций ( $\Sigma\Phi$ ).

Кроме того, любая техническая структура представляет собой некоторую сумму затрат (расплата за появление полезных функций) – weight, sizes, consumed energy (МГЭ)

Напомним, что в общем случае идеальность ТС определяется как отношение:

$$I(S) = \frac{\Sigma F(\Gamma\Pi\Phi)}{\Sigma(\text{МГЭ})} \quad (1)$$

Чем больше числитель и чем меньше знаменатель, тем больше идеальность.

Но как пользоваться этой формулой при решении задач и/или целенаправленном развитии систем?

### 2. Каким должен быть показатель идеальности.

Показатель идеальности должен быть безразмерной величиной. Это необходимо для объективного сравнения разных ТС, выполняющих одну и ту же ГПФ, или для сравнения любых ТС между собой: какая ТС самая идеальная?

Выражение для безразмерного показателя может быть получено только в виде уравнения **однородного относительно размерностей** (Теорема Букингема: Если какое-либо уравнение однородно относительно размерностей, то его можно преобразовать в соотношение, содержащее набор безразмерных комбинаций величин) *Однородным относительно размерностей* является уравнение, форма которого не зависит от выбора единиц (например, не зависит от выбора шкалы измерения температуры – Цельсия, Кельвина и т.д.)<sup>1</sup>.

Для правильного применения анализа размерностей необходимо знать характер и число фундаментальных переменных, выбранных для определения идеальности данной ТС.

**Фундаментальной переменной** называют любую величину, оказывающую влияние на идеальность и способную изменяться независимо от других переменных. В отличие от них **регулируемые переменные** изменяются при изменении других переменных.

Показатели затратности (МГЭ) – все три величины являются фундаментальными.

Остается правильно выбрать ГПФ (чтобы она была фундаментальной величиной).

---

<sup>1</sup> *Неоднородные уравнения* не могут дать полного математического описания взаимосвязей параметров данной ТС. Если уравнение получается неоднородным, то или не учтены все параметры, или дана их неправильная интерпретация.

### 3. Определение ГПФ.

Для правильного определения ГПФ необходимо составить перечень всех полезных свойств ТС, ради которых она и была создана.

Какие свойства ТС включать в состав полезных функций?

Система должна описываться полно: все основные параметры (свойства), отличающие данную ТС от любой другой того же класса, должны быть включены в список<sup>2</sup>.

**Пример.** Определим ГПФ ( $\Sigma\Phi$ ) легкового автомобиля.

Какие свойства характеризуют и отличают ТС–автомобиль от других автомобилей (грузовые, спортивные и т.д.)?

1. Расстояние, на которое будет перемещен человек.

Но если взять только этот параметр, то под него лучше подойдет внедорожник с большим бензобаком.

2. Полезная грузоподъемность, т.е. сколько человек и какое количество груза может перевезти этот саг.

Но если возьмем только эти два параметра, то лучше всего подойдет грузовик с большим кузовом.

3. Время доставки человека и груза на определенное расстояние.

Но если возьмем только эти три параметра, то лучше всего подойдет спортивный с кузовом.

4. Комфортность (тем комфортнее, чем меньше затрат энергии на управление автомобилем – управление подсистемами, поза водителя, мягкость сидений, климат в салоне, доступность информации об автомобиле и внешней среде, наличие подсистем обеспечивающих нормальные физиологические потребности),

Эти четыре параметра отличают легковой автомобиль от других типов автомобилей.

### 4. Определение идеальности.

Итак, ГПФ легкового автомобиля – быстро и комфортно переместить человека и груз в пространстве.

Полезно-функциональные параметры (чем они больше, тем лучше):

- L – расстояние доставки, м
- G - вместимость, чел., точнее – грузоподъемность полезная, кг;
- T- время доставки, с;
- C – комфортность, единица измерения - Дж<sup>-1</sup> (т.е. эта величина должна быть в знаменателе):

Затратные параметры (чем они меньше, тем лучше)::

- W – масса, кг;
- E – расход энергии, т.е. потребление топлива на единицу пробега, л/км;
- S - габариты (объем), м<sup>3</sup>;

Т.е. имеем семь фундаментальных параметров.

Общее уравнение для идеальности можно записать в следующем виде:

$$I(S) = f((L, G, T, C)(W, E, S)) \quad (2)$$

<sup>2</sup> Могут включаться также и физические постоянные (они являются безразмерными величинами), если без них описание системы неполно.

Согласно теореме Букингема это соотношение (если оно однородно) можно выразить через безразмерные комбинации величин.

Такое уравнение будет представлять собой набор **безразмерных комбинаций величин** – это произведения или отношения величин, составленные таким образом, чтобы в каждой комбинации размерности сокращались.

Обозначим эти группы параметров через критерии:

$$\pi_1 = L, G, T, C \quad (3)$$

$$\pi_2 = W, E, S$$

Тогда идеальность будет:

♦ или отношение критериев:

$$I_1(S) = f\left(\frac{\pi_1}{\pi_2}\right) \quad (4)$$

♦ или произведение критериев:

$$I_2(S) = f(\pi_1 \pi_2) \quad (5)$$

Выразим сначала размерность параметров, описывающих идеальность данной ТС, по отношению к трем **основным единицам**: массы (М), времени (Т), длины (L).

Название параметра	Обозначение	Формула размерности
Расстояние доставки	L	L
Грузоподъемность полезная	G	M
Время доставки	T	T
Комфортность ( $\frac{1}{\text{энергозатраты водителя}}$ )	C	$M^{-1}L^{-2}T^2$
Масса	W	M
Энергопотребление (работа)	E	$L^2MT^{-2}$
Габариты	S	$L^3$

Для того, чтобы найти критерии идеальности  $\pi_1$  и  $\pi_2$  решим систему уравнений (подставим вместо величин их размерности из таблицы):

$$\pi_1 = L^{X_1} G^{Y_1} T^{Z_1} C = L^{X_1} M^{Y_1} T^{Z_1} (M^{-1} L^{-2} T^2) \quad (6)$$

$$\pi_2 = L^{X_2} G^{Y_2} T^{Z_2} C = M^{Y_2} (L^2 M T^{-2})^{Y_2} L^{3Z_2}$$

Чтобы данное уравнение было однородным относительно размерностей, должны выполняться следующие соотношения между показателями степени:

для  $\pi_1$

$$L: X_1 - 2 = 0$$

$$M: Y_1 - 1 = 0$$

(7)

$$\begin{aligned} \text{T: } & Z_1 + 2 = 0 \\ \text{тогда: } & X_1 = 2 \quad Y_1 = 1 \quad Z_1 = -2 \end{aligned}$$

для  $\pi_2$

$$\begin{aligned} \text{L: } & 2 + 3Z_2 = 0 \\ \text{M: } & X_2 + Y_2 = 0 \\ \text{T: } & -2Y_2 = 0 \\ \text{тогда: } & X_2 = 0 \quad Y_2 = 0 \quad Z_2 = -2/3 \end{aligned} \quad (8)$$

Мы получили формулы критериев:

$$\left. \begin{aligned} \pi_1 &= L^2 G T^{-2} C \\ \pi_2 &= S^{-2/3} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Если применить операцию умножение ( $\pi_1 * \pi_2$ ), то идеальность имеет вид:

$$I_1 = L^2 G T^{-2} C S^{-2/3} = \frac{L^2 G C}{T^2 \sqrt[3]{S^2}} \quad (10)$$

Проанализируем физический смысл: функции  $I_1(\mathbf{S})$ :

Идеальность тем выше, чем больше расстояние доставки, грузоподъемность и комфортность и чем меньше время доставки и габариты автомобиля. Это правильное определение.

Применим операцию деление ( $\pi_1 / \pi_2$ ), идеальность примет вид:

$$I_2 = \frac{L^2 G T^{-2} C}{S^{-2/3}} = L^2 G T^{-2} C S^{2/3} \quad (11)$$

Проанализируем физический смысл функции  $I_2(\mathbf{S})$ :

Это определение не имеет смысла.

Сделаем окончательный выбор формулы идеальности для легкового автомобиля:

$$I = L^2 G T^{-2} C S^{-2/3} = \frac{L^2 G C}{T^2 \sqrt[3]{S^2}} \quad (10)$$

Бак 40 л, 10 л/км, 400км = 400000 м  
500 кг

Время: 4 часа = 14400 с

$C = 125 \times 4 \text{ часа} = 500 \text{ ккал}^{-1} = 500 \times 4190 \text{ Дж} = 2095000 \text{ Дж}$

Габариты:  $3 \times 2 \times 1,5 = 9 \text{ м}^3$   
 $400000^2 \times 500$

$$I = \frac{400000^2 \times 500}{2095000 \times 14400^2 \times 9^{2/3}} = 0,043$$