

Оптимизация ХТС. Общие положения

Технологический процесс называют оптимальным, если он обеспечивает, **во-первых, выполнение системы ограничений**, отражающих условия протекания процесса и требования, предъявляемые к нему, и **во-вторых, обеспечивает экстремум (минимум или максимум) критерия оптимальности**. Критерием оптимизации (или критерием оптимальности) называют **количественную оценку** качества функционирования исследуемого объекта.

Наиболее важные показатели оптимизации:
Срок окупаемости = Капитальные затраты / Прибыль.

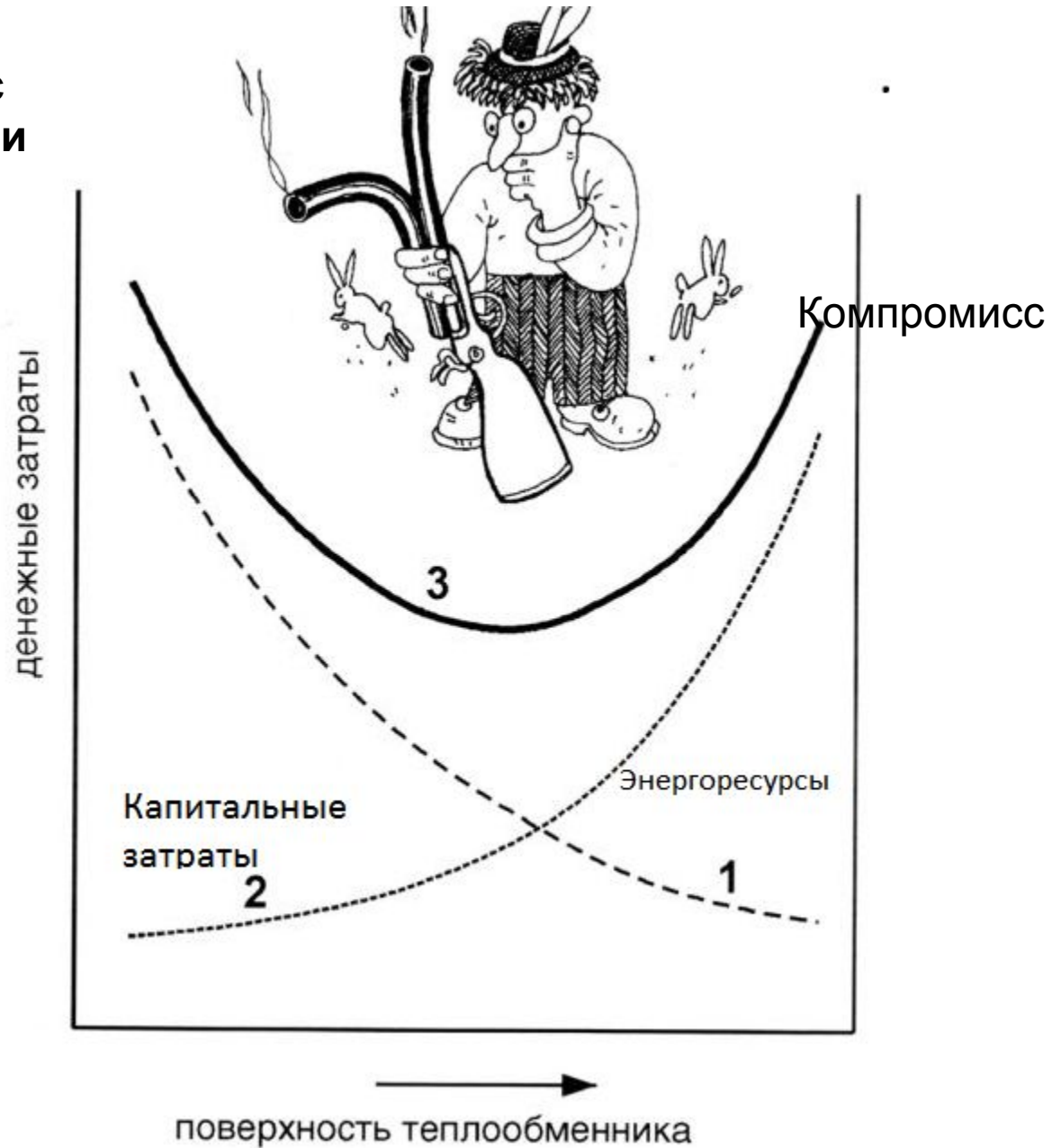
Прибыль = Цена реализации - Себестоимость

Себестоимость: затраты на сырье, электроэнергию и тепло, заработная плата, амортизация и др. отчисления. Расходы сырья составляют 40-55% от всех затрат, тепла и энергии 10-14%, амортизация-8%.

Следует **всегда** уменьшать капитальные затраты, расходы сырья, электроэнергии и тепла.

Необходимо искать **компромисс** между капитальными затратами и расходами энергии, так как часто уменьшение капитальных затрат ведет к росту расходов энергии (см. рисунок)

Пример- связь
поверхности
теплообменника с
расходами энергии
и капитальными
затратами.



Отрасли	Сырье и основные материалы	Вспомогательные материалы	Топливо	Энергия	Амортизация	Зарплата и отчисления на социальное страхование	Прочие затраты	Итого
Промышленность, всего	64,1	4,6	3,8	2,5	5,3	15,5	4,2	100,0
Черная металлургия	56,3	6,1	10,5	4,1	7,5	11,5	4,0	100,0
Химическая и нефтехимическая	56,7	7,0	1,6	9,2	7,8	13,0	4,7	100,0
Производство пластмасс и их переработка **	70,3	4,7	0,8	4,5	5,1	12,4	2,2	100,0
Машиностроение и металлообработка	57,0	4,2	1,4	2,2	4,7	25,1	5,4	100,0
Деревообрабатывающая	57,6	3,6	2,1	1,8	4,3	26,7	3,9	100,0
Целлюлозно-бумажная	52,1	6,3	8,0	6,0	9,6	14,7	3,3	100,0
Строительные материалы	40,7	5,9	7,6	4,4	8,8	24,2	8,4	100,0
Легкая	85,2	2,8	0,4	0,7	1,0	9,1	0,8	100,0
Пищевая	85,2	3,3	1,4	0,5	2,0	5,8	1,8	100,0

Оптимизация ХТС в реальном производстве практически исключена : невозможность выделения сигнала на фоне шума, дороговизна, опасность получения брака и аварий.

Поэтому единственным методом оптимизации является **использование моделей (аналитический метод) процесса, экспериментальная оптимизация**, либо того и другого совместно.

В зависимости от типа химико-технологического объекта, в **математическую модель** могут входить следующие системы уравнений: гидродинамики, кинетики тепло- и массообмена, кинетики химических реакций. *Гидродинамические уравнения используются в том случае, если через моделируемый объект осуществляется непрерывный проток реакционной смеси.*

При описании движения среды используются **следующие гидродинамические модели.**

Наиболее распространенные гидродинамические модели:

1. **«Идеальное смешение»** – для описания реакторов с мешалкой, барботажных аппаратов, реакторов с псевдооживленным слоем и др.:
2. **«Идеальное вытеснение»** – для описания трубчатых реакторов:
3. **Однопараметрическая диффузионная гидродинамическая модель** – используется для описания распылительных и насадочных колонн
4. **Комбинированная модель. Комбинированной моделью**, включавшей элементы «идеальное смешение», «идеальное вытеснение», байпас и циркуляцию можно описать гидродинамику объекта любой сложности.

В общем случае модель включает в себя следующие уравнения:

Для движения потока материалов (жидкости или газа) через аппарат:

$$\frac{dV}{F d\tau} = \frac{\Delta p}{R_1} = K_1 \Delta p, \quad (1.1)$$

где V — объем протекающей жидкости; F — площадь сечения аппарата; τ — время; K_1 — коэффициент скорости процесса (величина, обратная гидравлическому сопротивлению R_1); Δp — перепад давления в аппарате.

Для движения (переноса) тепла:

$$\frac{dQ}{F d\tau} = \frac{\Delta t}{R_2} = K_2 \Delta t, \quad (1.2)$$

где Q — количество переданного тепла; F — поверхность теплообмена; K_2 — коэффициент теплопередачи (величина, обратная термическому сопротивлению R_2); Δt — средняя разность температур между обменивающимися теплом материалами.

Для переноса вещества из одной фазы в другую:

$$\frac{dM}{F d\tau} = \frac{\Delta c}{R_3} = K_3 \Delta c, \quad (1.3)$$

где M — количество вещества, перенесенного из одной фазы в другую; F — поверхность контакта фаз; K_3 — коэффициент массопередачи (величина, обратная диффузионному сопротивлению R_3); Δc — разность между равновесной и рабочей концентрациями вещества в фазах.

Для химических превращений:

$$\frac{dM}{V d\tau} = K_4 f(c), \quad (1.4)$$

где M — количество прореагировавшего в химическом процессе вещества; V — объем реактора (аппарата); K_4 — коэффициент скорости химического процесса; $f(c)$ — движущая сила процесса, которая является функцией концентраций реагирующих веществ.

Наличие большого числа уравнений усложняет расчет. Например, если через некоторый объект осуществляется проток среды и в нем протекают химические реакции, необходимо использовать уравнения гидродинамики и химической кинетики(пример - работа реактора идеального смешения)

К структуре ХТС и качеству ее функционирования обычно предъявляется ряд требований, поэтому оптимизацию приходится осуществлять с учетом нескольких критериев оптимальности. **Соединение всех критериев одновременно невозможно** – разные критерии соответствуют различным наборам факторов. Поэтому наиболее верным является метод --- **ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ УСТУПОК** и **- метода выбора главного критерия с учетом ограничения на остальные критерии.**

Последний метод предполагает использование надстройки в Microsoft Excel, **"Поиск решения"** — которую можно использовать для анализ **"что, если"**. С ее помощью можно найти оптимальное значение (максимум или минимум) по формуле, содержащейся в одной ячейке, называемой целевой, с учетом ограничений на значения в других ячейках с формулами на листе.

Метод уступок

Предположим, что показатели W_1, W_2, \dots расположены в порядке убывающей важности. Сначала ищется решение, обращающее в максимум первый (важнейший) показатель W_1 . Затем назначается, исходя из практических соображений, «уступка» ΔW_1 , которую мы согласны сделать для того, чтобы максимизировать второй показатель W_2 . Наложим на показатель W_1 ограничение: потребуем, чтобы он был не меньше, чем $W_1^* - \Delta W_1$, и при этом ограничении ищем решение, обращающее в максимум W_2 . Далее снова назначим «уступку» в W_2 , ценой которой можно максимизировать W_3 , и т. д. Такой способ построения компромиссного решения хорош тем, что здесь сразу видно, ценой какой «уступки» в одном показателе приобретается выигрыш в другом и какова величина этого выигрыша.

Экспериментальный метод оптимизации

осуществляется на базе лабораторного или опытно-промышленного оборудования путем аппроксимации опытных данных различного рода регрессионными уравнениями, а также применением методов активного эксперимента - симплекс-метод, планирование эксперимента, случайный поиск, метод уступок и др.

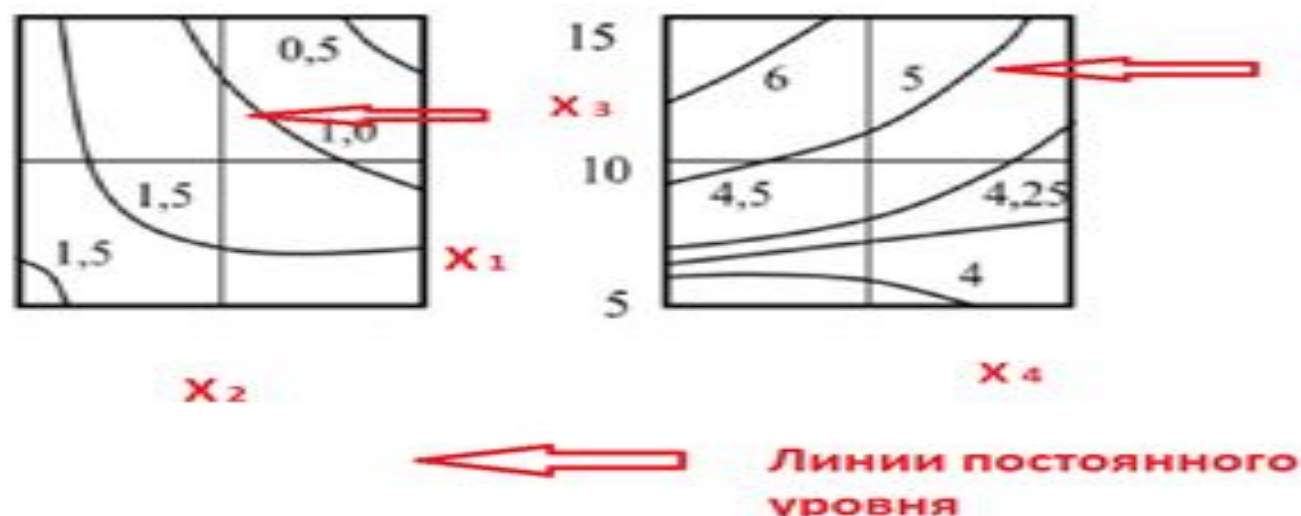
Основные преимущества и недостатки аналитического и экспериментального методов

Экспериментальный метод	Аналитический метод
<p>1. Требуется небольших затрат времени на определение параметров уравнений</p> <p>2. Дает удовлетворительную точность аппроксимации статических и динамических свойств объекта</p> <p>3. Применяется для описания динамики линеаризуемых в малом объектов</p> <p>4. Позволяет найти уравнения статики и динамики только того объекта, на котором проводился эксперимент</p> <p>5. Не позволяет установить связь параметров уравнений с конструктивными параметрами объекта и режимом его работы</p>	<p>1. Требуется больших затрат времени на постановку опытов и определение параметров уравнений</p> <p>2. Дает невысокую точность описания статических и динамических свойств объекта</p> <p>3. Применяется для описания динамики линейных и нелинейных объектов</p> <p>4. Позволяет составить математическое описание для класса однотипных объектов</p> <p>5. Позволяет установить связь параметров уравнений с конструктивными размерами и режимом работы объекта</p>

Принцип эквивалентности. Линии постоянного уровня.

Экспериментально можно доказать, что один и тот же показатель химического процесса можно достичь разными способами.

Например, один и тот же выход химического продукта можно получить как для факторов температура T_1 и времени t_1 , так и для факторов температура T_2 и времени t_2 . (принцип температурно-временной суперпозиции). Принцип эквивалентности - одной точке факторного пространства может, соответствует бесконечный набор точек, определяющих ее свойства. Графически для 2- факторов это будет выглядеть так:



Многокритериальная оптимизация

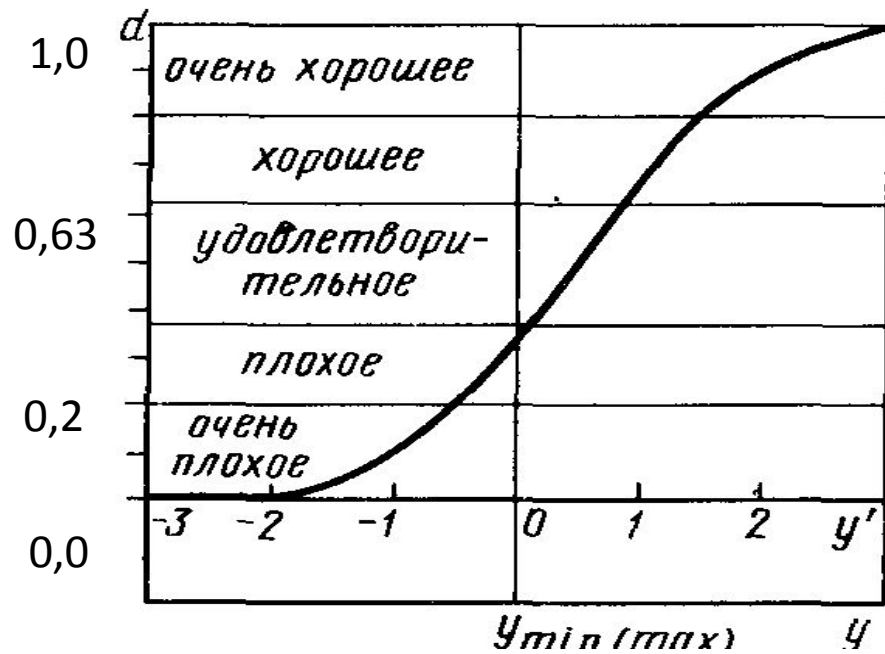
Обычный процесс характеризуется несколькими критериями оптимизации: себестоимость, капитальные затраты, выход продукции, селективность, стоимость утилизации отходов и т.п. Т.е. возникает необходимость получить решение удовлетворяющее сразу нескольким критериям.

Наиболее простой способ (**самый наихудший**) способ построения **обобщенной функции желательности**.

Математический аппарат пересчета конкретных параметров в абстрактные числовые значения крайне прост. За основу берется одна из логистических функций Е. К. Харрингтона – так называемая «кривая желательности». Ее формула –

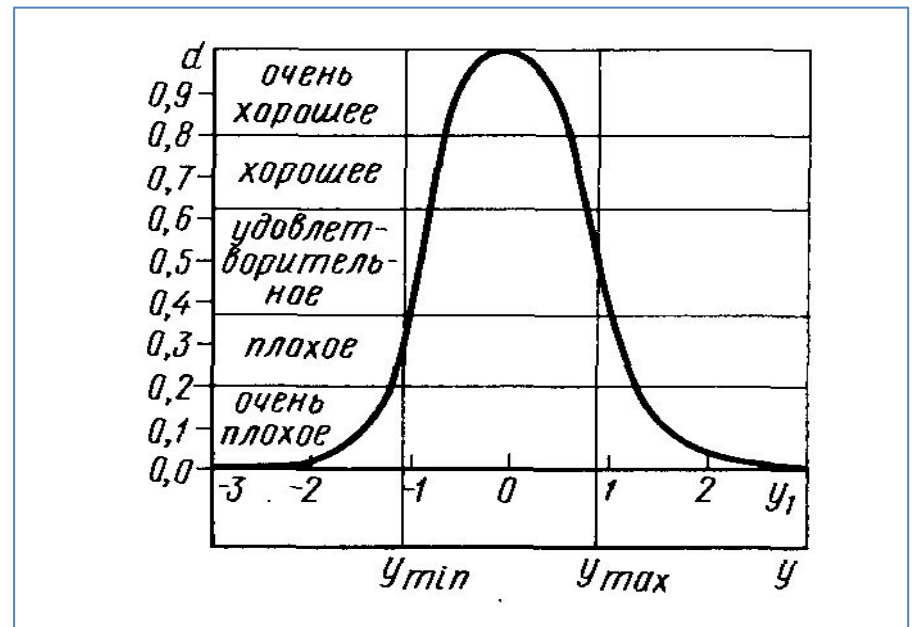
$d = \exp[-\exp(-Y)]$ – определяет функцию с линейным участком (от $d=0,2$ до $d = 0,63$). Эта функция была выведена эмпирическим путем. Ось координат Y называется шкалой частных показателей. Ось d –

шкалой желательности



$$d = \exp[-\exp(-Y)]$$

**Одно стороннее
ограничение**



2-х стороннее ограничение

Шкала желательности делится в диапазоне от 0 до 1 на пять поддиапазонов: [0; 0,2] – **«очень плохо»**, [0,2; 0,37] – **«плохо»**, [0,37; 0,63] – **«удовлетворительно»**, [0,63; 0,8] – **«хорошо»**, [0,8;1] – **«очень хорошо»**.

Конкретные параметры распределяются в масштабе оси y , в соответствии с предъявляемым к ним требованиям.

Затем они пересчитываются в отметки на шкале желательности d . Полученное значение $d(i)$ для i -го параметра пересчитывается вместе с другими в обобщенный **коэффициент желательности – D** .

Он вычисляется по формуле),

$$D = \sqrt[n]{d(1) \cdot d(2) \cdot \dots \cdot d(n)},$$

где n – число используемых показателей параметров сравнения для данной системы.

недостатками: 1. Произвольное назначение:

«плохой», «хороший» и т.д;

2. Невозможность обойти **правила**

компенсации:

$$D_1 = (0,2 * 0,8)^{0,5}$$

$$D_2 = (0,8 * 0,2)^{0,5}$$

$$D_1 = D_2$$

Т.е. два объекта обладающие совершенно разными свойствами оказываются равноценными.

3. В один параметр включают свойства разной размерности.