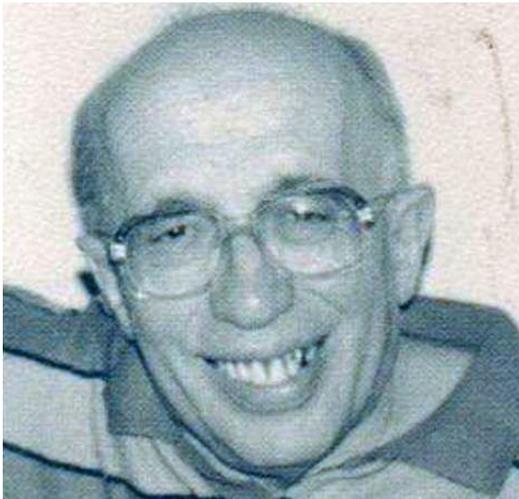


Положение о движущей силе, ее
распределении,
секционировании процессов как
следствие необратимости
химических процессов

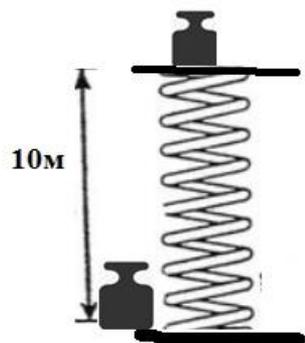
Анализ и оптимизация ХТС по Лейтесу и Саму

Американский ученый Сама и советский
(российский) ученый Лейтес на основании
анализа использования второго закона
термодинамики предложили ряд правил для
анализа и оптимизации ХТС



В основе их разработки лежит положение о том, что **все технологические процессы необратимы**, т.е они не могут быть проведены в противоположном направлении через все те же самые промежуточные состояния без затраты дополнительной энергии.

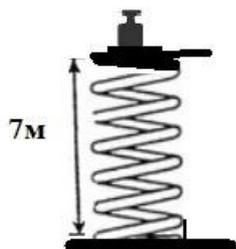
Любой необратимый процесс характеризуется потерей энергии, которую нельзя превратить в полезную работу.



$A=?$



$m=10\text{кг}$



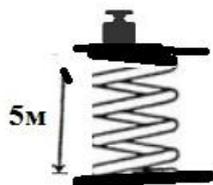
$m_1=3\text{кг}$

$m_2=7\text{кг}$

$A=?$



$m_1+m_2=10\text{кг}$



$m_1=5\text{кг}$

$m_2=5\text{кг}$

$A=?$



$m_1+m_2=10\text{кг}$

Анализ , который мы с вами провели, показал,

1. что сжимать пружину лучше по частям, т.е **уменьшать движущую силу**
2. лучше применять движущую силу, которая разбита на равные части (**5 и 5 кг дает больший выигрыш, чем 3 и 7 кг.**)

Фактически мы разбивали движущую силу на равные части и вводили ее по все длине пружины.

Если бы мы продолжали дальше равномерно делить на небольшие порции движущую силу процесса сжатия пружины, то выигрыш в экономии энергии все время бы непрерывно возрастал, до некоторой постоянной величины. Можно показать, что при бесконечно малой движущей силе эффект экономии- максимальный.

Итак, наш расчет показывает, **что для того, чтобы сэкономить энергию необходимо движущую силу делить на равномерные части и подводить ее к объекту постепенно.**

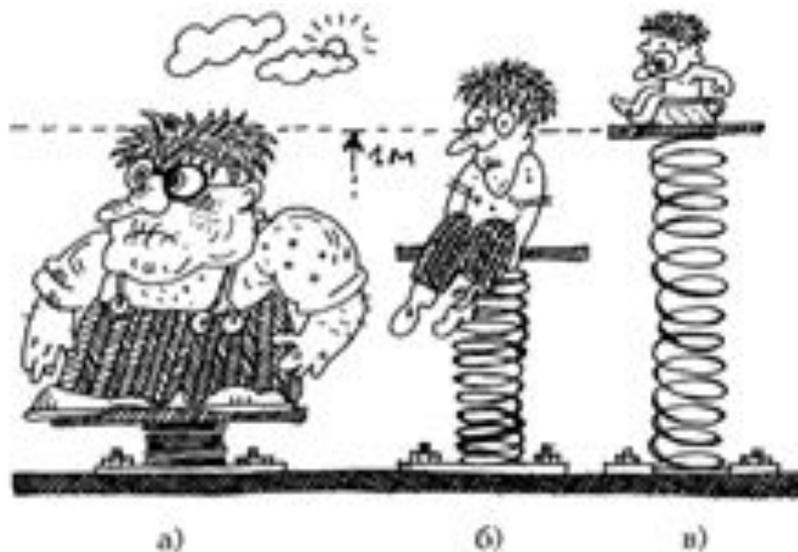
Рассмотрим теперь противоположную задачу-пружина сжата.

Как получить максимальную работу от ее перехода в исходное состояние ?

Задача решается аналогичным образом. И следовательно -

в подобной ситуации, когда есть постепенно уменьшающееся *противодействие*, пружина совершит работу, близкую к *максимальной полезной работе*.

Каков же наилучший способ распрямить пружину? Давайте перед тем, как освободить пружину, вместо толстяка весом 100 кг поставим на нее чуть более худого, весящего, например, «лишь» 99 кг. Пружина немного поднимет этого «худышку» и опять замрет. Она сделает при этом немного полезной работы. Далее уже всем ясно. Заменим второго мужчину третьим, еще более легким, и так далее, дойдем и до ребенка, как показано на том же рисунке.

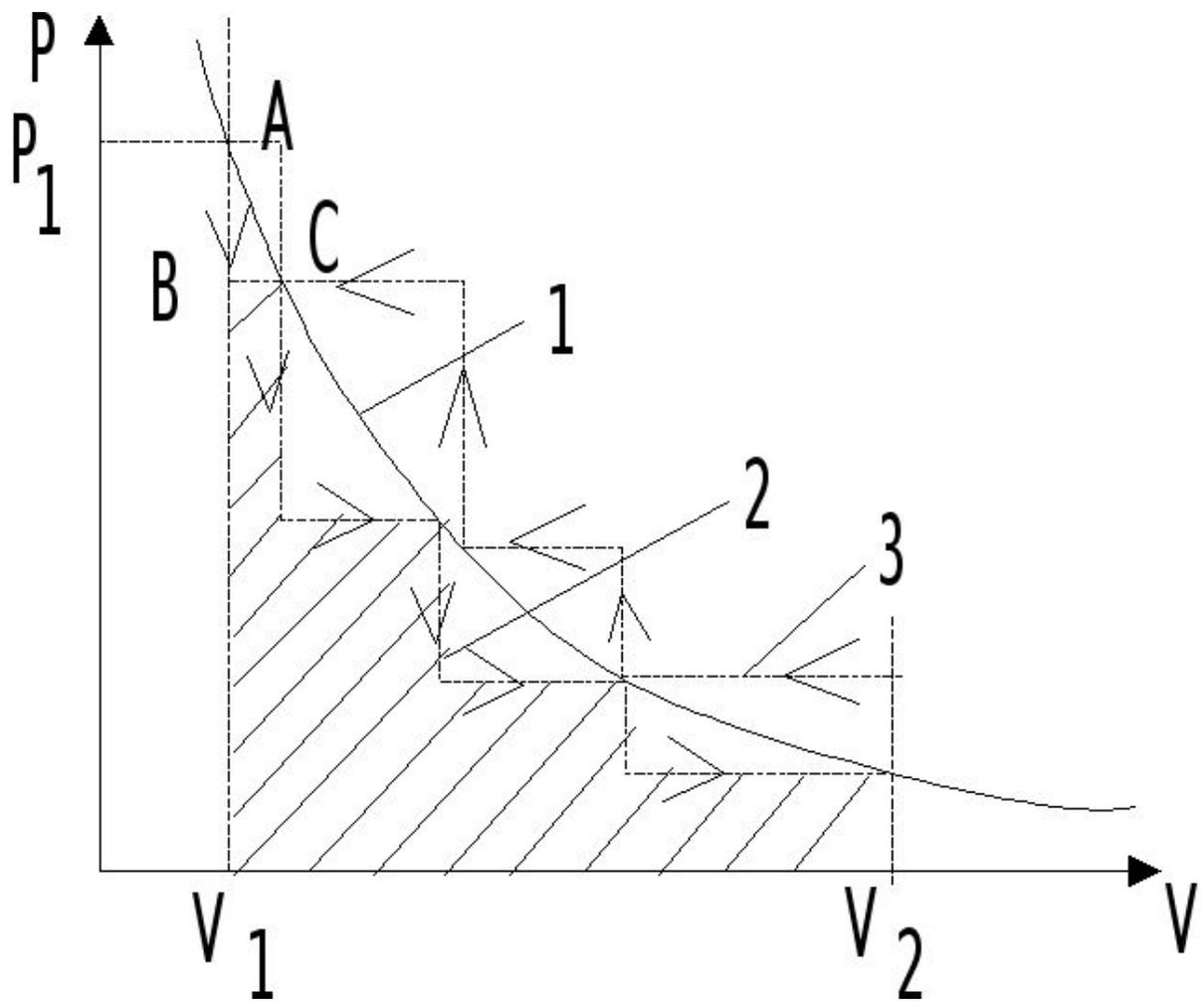


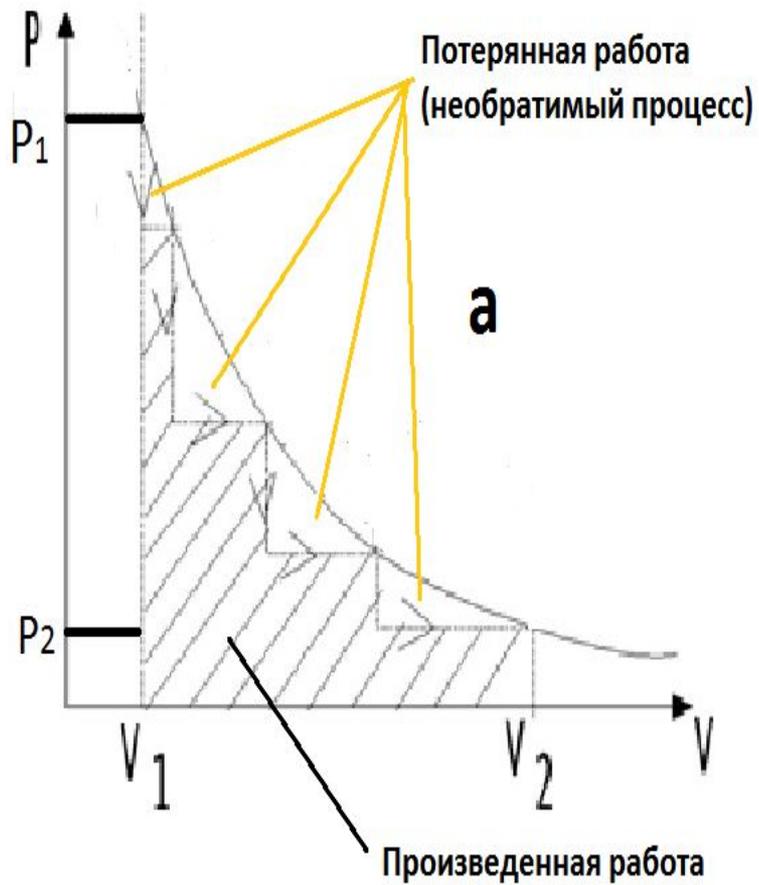
Как получить максимальную работу при распрямлении сжатой пружины. Сначала создать противодействие, посадив на нее толстяка (а). Затем постепенно снимать противодействие, давая пружине постепенную

возможность совершить работу (б, в)

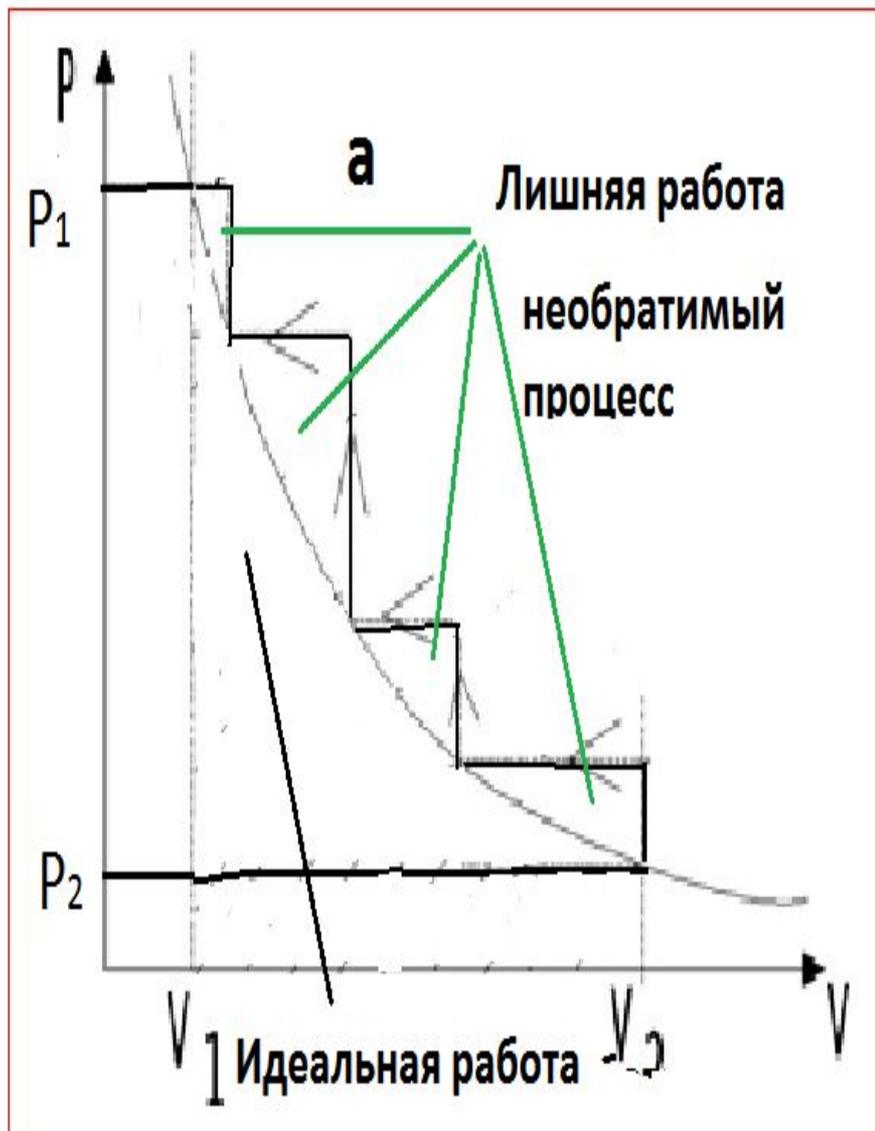
Рассмотрим аналогичную задачу.
Пружину сжали, положив на нее ящик с
100 кг кирпичей. Чтобы получить
«максимальную» работу нужно снимать
по одному кирпичу.

**В подобной ситуации, когда есть
постепенно уменьшающееся
противодействие, пружина
совершит работу, близкую к
*максимальной полезной работе.***

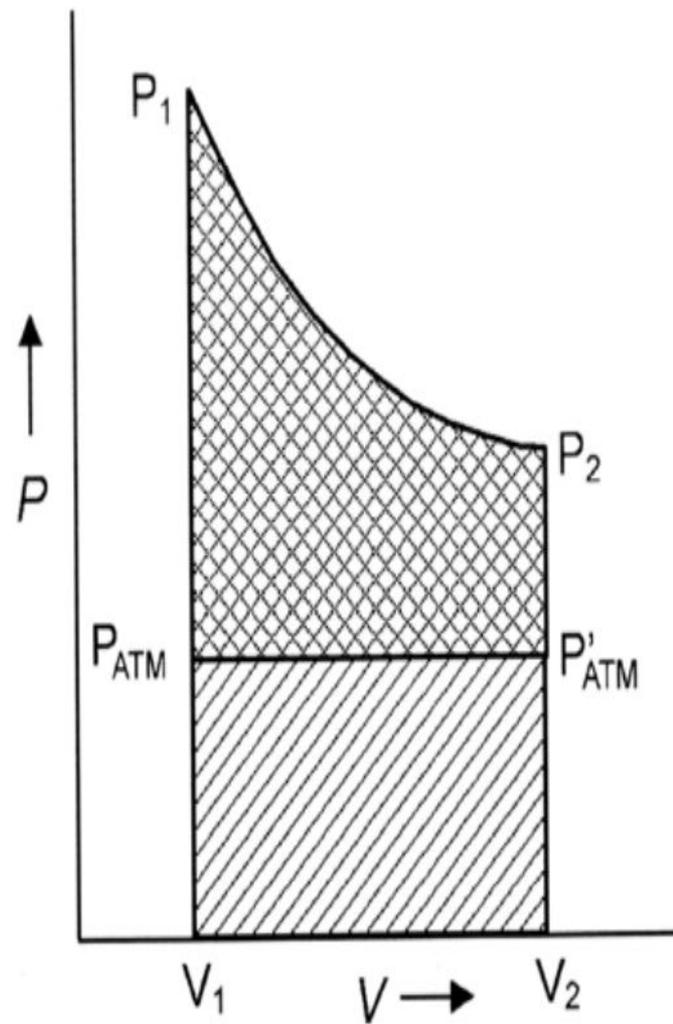
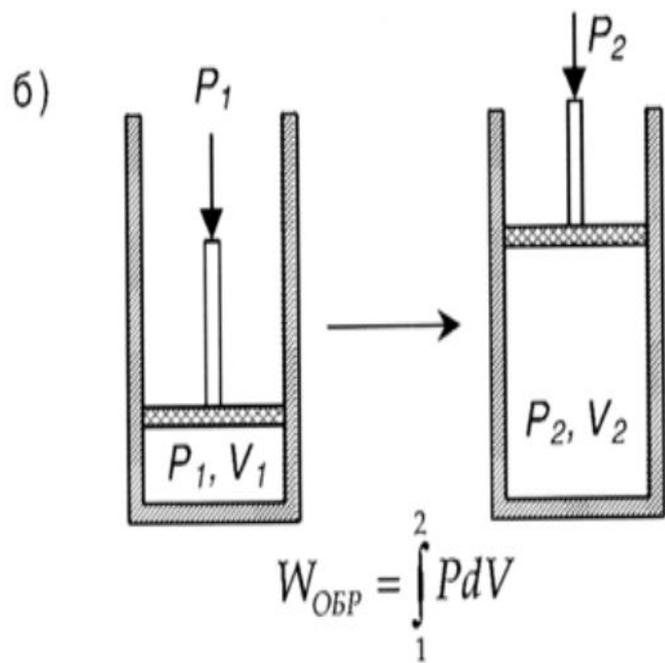
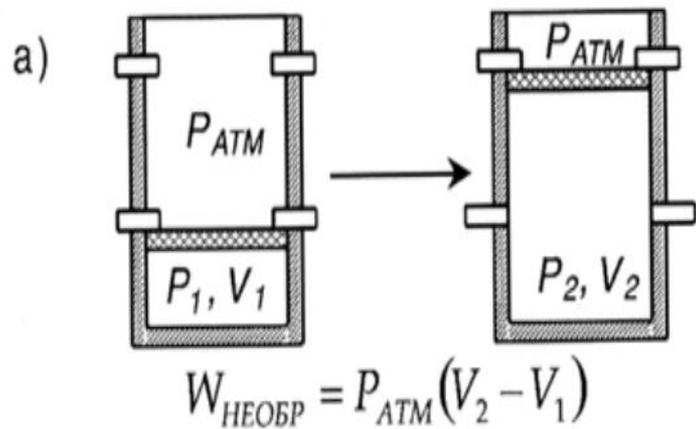


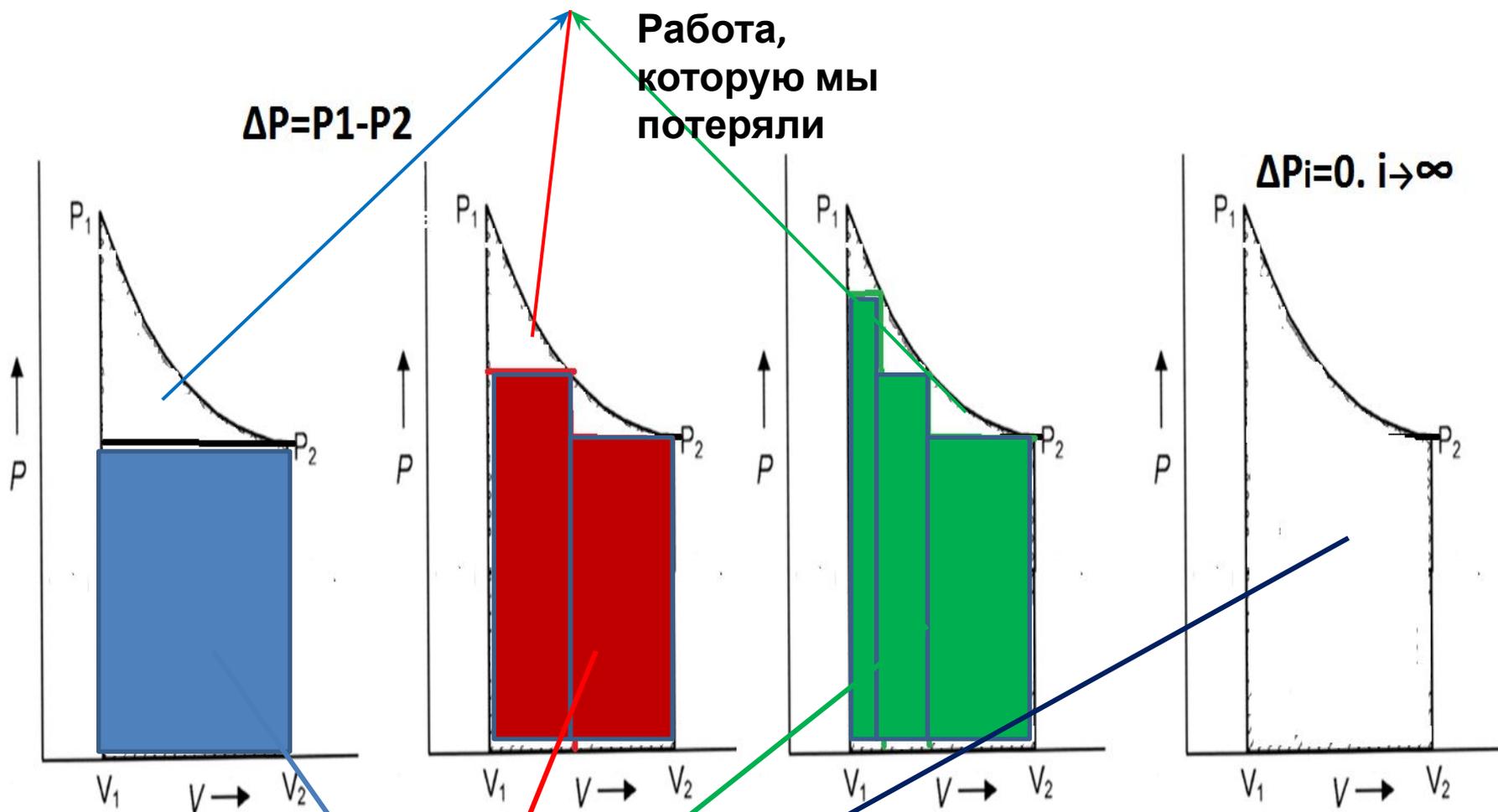


**Обратимый и необратимый процесс
 расширения газа**



Обратимый и необратимый процесс сжатия газа





Работа,
которую мы
потеряли

Необратимый
процесс



Работа расширения газа

Обратимый
процесс
Была получена
максимальная
работа

Положение о равномерности движущей силы и о секционировании процесса

Что это значит для химической технологии:

1. Движущая сила должна была равномерной. Как этого добиться? Ведь скорость реакции пропорциональна концентрации которая со временем убывает, а тепло реакции (экзо) и температура растет со временем.

Ответ - Наилучший энергосберегающий аппарат – это аппарат, в котором все потоки вещества и энергии вводятся и выводятся *по всей его высоте (или*

Положение о движущей силе.

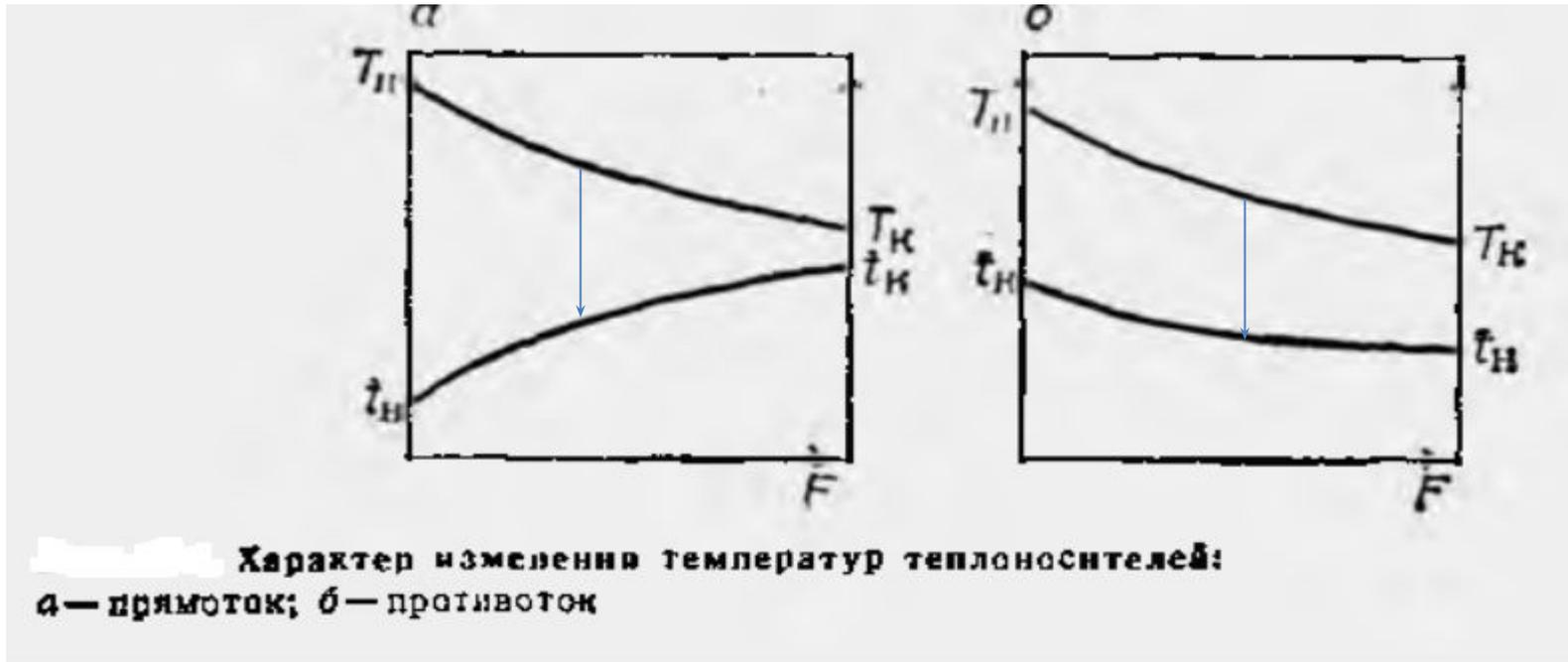
2. Движущая сила любого процесса **должна быть близка к нулю** на всем его протяжении, то есть во всех точках аппарата и в любой момент (минимальный расход энергии).

Но так как это приводит к росту капитальных затрат, **то движущая сила должна быть выбрана с учетом капитальных затрат.** Иногда встречаются исключения - **энергия и капитальные затраты** уменьшаются одновременно.

Примеры

а

б



При противотоке (б) движущая сила относительно постоянная по всей длине аппарата. Следовательно **противоток лучше прямотока!**

**Рассмотрим пример – почему противоток
лучше прямотока**

Задано прямоток

$200^{\circ}\text{C} \longrightarrow 160^{\circ}\text{C}$

$20^{\circ}\text{C} \longrightarrow 100^{\circ}\text{C}$

$T_{\text{ср}} = 110^{\circ}\text{C}$

Задано противоток

$200^{\circ}\text{C} \longrightarrow 160^{\circ}\text{C}$

$100^{\circ}\text{C} \longleftarrow 20^{\circ}\text{C}$

$T_{\text{ср}} = 119^{\circ}\text{C}$

**Во втором случае поверхность
теплообмена**

$$F = Q / k \Delta T_{\text{ср}}$$

меньше!

Аналогично, при
одинаковой поверхности теплообменников
равномерная движущая сила в противотоке дает
возможность рекуперировать больше тепла.

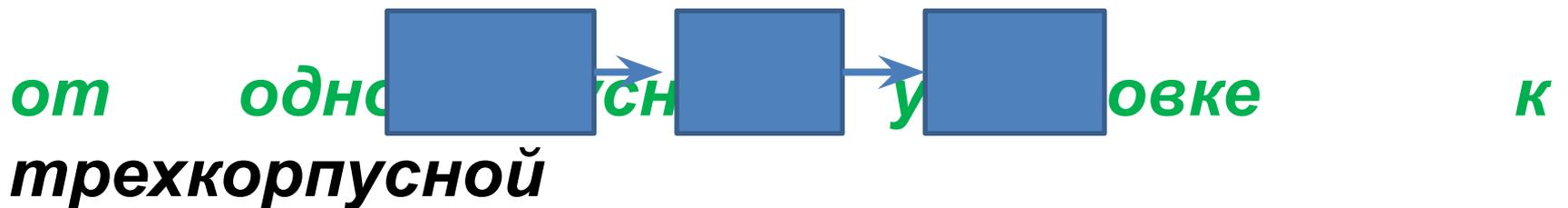
Итог — проектируя теплообменники (а также и другие
аппараты — абсорберы,
ректификационные колонны и так далее), можно
одновременно сэкономить и энергоресурсы, и
капитальные затраты, если **избегать неравномерности**
движущих сил. И наоборот — при
неравномерной движущей силе можно бездарно
растражирить капитальные затраты и не
получить желаемой экономии энергоресурсов.

Выпарка. Опытные данные показывают, что
МОЖНО

сэкономить пар при переходе



50%



67%



Когда противоток хуже прямотока

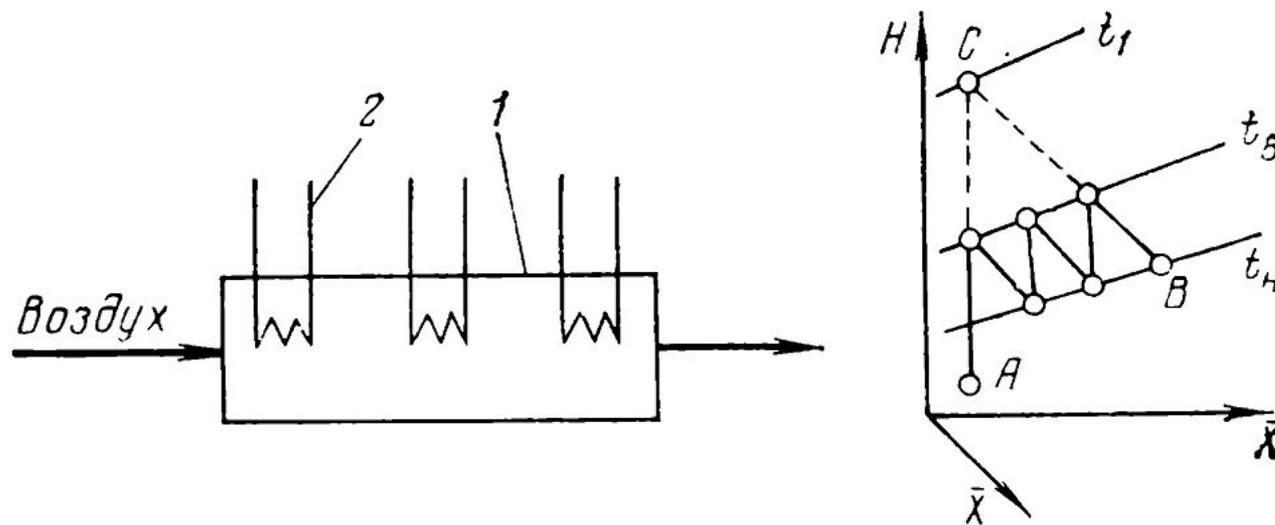
1. Сушка материала, чувствительного к температуре.

Горячий теплоноситель встречается с уже подсушенным материалом, не защищенным водой, что может привести к его разложению.

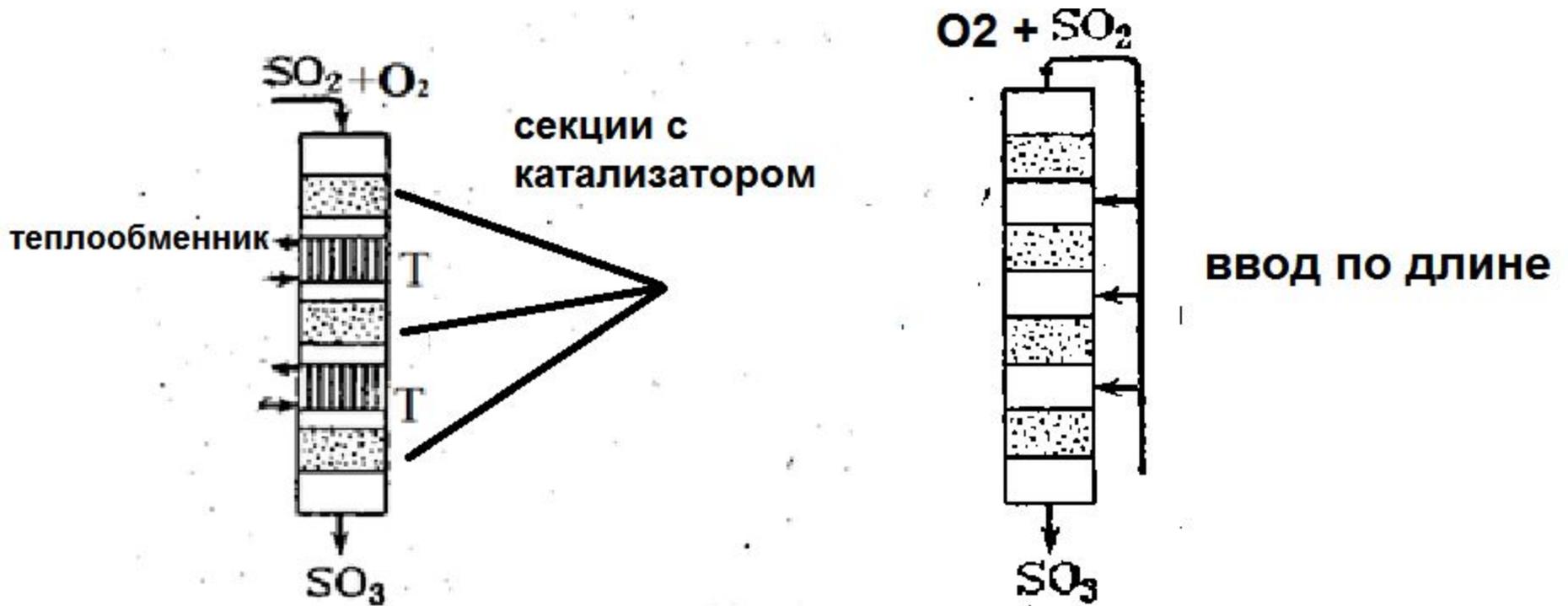
2. Каталитические процессы с циркулирующим катализатором.

При противотоке избыточное тепло регенированного катализатора расходуется на перегрев, выходящих из реактора продуктов реакции. При прочих равных условиях средняя температура в рабочей зоне прямоточных реакторов больше чем в противоточных.

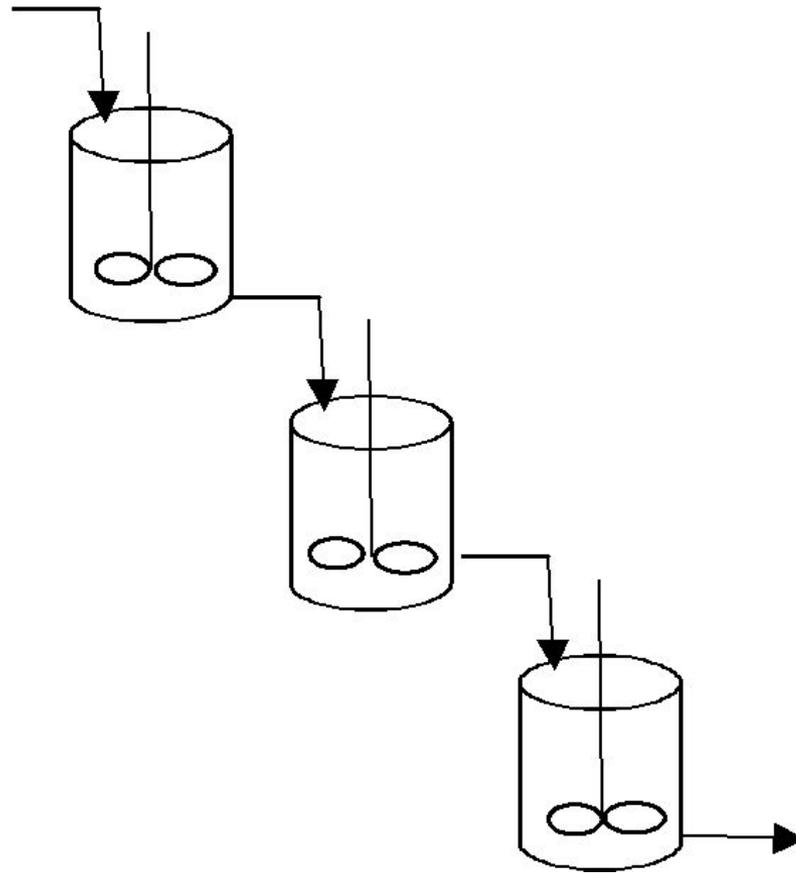
Сушка без предварительного подогрева воздуха потребовала бы подогрева до температуры t_1 (точка C).
Трехступенчатая сушка позволяет ограничиться подогревом до температуры t_B



Сушка с многократным промежуточным подогревом воздуха:
1 — сушильная камера; 2 — промежуточные нагреватели



Секционирование процесса окисления SO₂



Каскад реакторов.

**Суммарный объем каскада реакторов
меньше
объема одиночного при сопоставимых**

Селективность и секционирование - так как секционирование обычно сопровождается уменьшением движущей силы и учитывая тот факт, что побочные реакции более чувствительны, например, к температуре, **то секционирование способствует росту селективности.**

Селективность не обязательно связаны с термодинамикой. Селективность каскада реакторов идеального смешения пропорциональна количеству реакторов в каскаде.

Зачастую простейшее конструктивное изменение — установка внутри аппарата нескольких перегородок с отверстиями — приводит к резкому