

ЛЕКЦИЯ № 5

УСТОЙЧИВОСТЬ РЕЖИМА РАБОТЫ РЕАКТОРА



Устойчивость системы определяется её реакцией на возмущения.

Система считается **устойчивой, если после наложения какого-либо возмущения она возвращается в прежнее состояние при снятии этого возмущения.**

При стационарном (установившемся) режиме реактора параметры, определяющие его работу, не изменяются во времени (отсутствуют возмущения).

$$dC/d\tau = 0, \quad dT/d\tau = 0, \quad dP/d\tau = 0$$

При **неустойчивом** состоянии отклонение какого-либо параметра технологического процесса от его первоначального значения (температуры, концентрации, давления и др.) приводит к отклонению от стационарного состояния в реакторе. Отклонение увеличивается во времени, режим реактора не возвращается в исходное состояние после снятия возмущения.

Для оценки работоспособности реактора необходимо выяснить возможные изменения стационарного состояния, приводящие к возникновению неустойчивости.

**Температурная неустойчивость – самоускорение реакции под воздействием собственного теплового эффекта.
Причина - отсутствие согласованности между скоростью тепловыделения и скоростью теплоотвода.**

Графический метод определения условий стационарности режима реактора

– совместное графическое решение уравнений материального и теплового балансов реактора с целью нахождения параметров его работы, при которых соблюдается равенство между приходом и расходом тепла при оптимальных показателях технологического процесса.

Простая необратимая экзотермическая реакция ($\Delta H < 0$)

$$Q_{\text{НАКОП.}} = Q_{\text{Х.Р.}} - Q_{\text{КОНВ.}} - Q_{\text{ТО}}$$

общее уравнение
теплового баланса
реактора

*При адиабатическом режиме тепло химической реакции
расходуется только на нагревание реакционной смеси*

$$Q_{\text{Х.Р.}} = Q_{\text{КОНВ.}}$$

уравнение теплового
баланса адиабатического
реактора

или

$$\Delta H \alpha_A = C_p^* (T - T_0)$$

C_p^* – теплоёмкость реакционной смеси;

T – температура реакционной смеси на выходе из реактора;

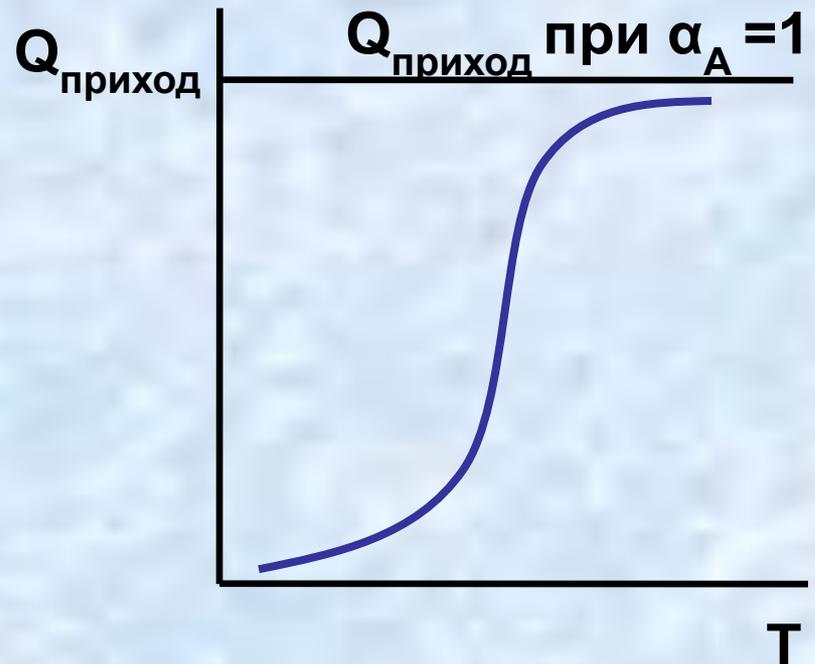
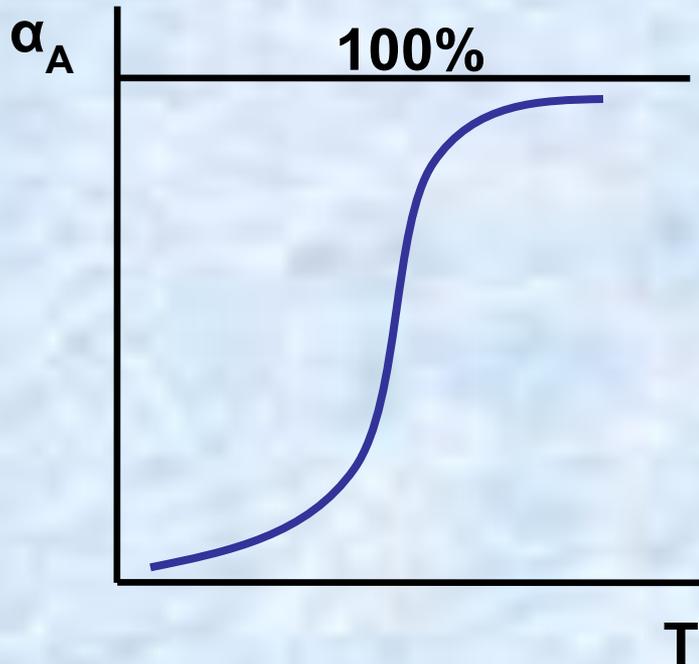
T_0 – температура реакционной смеси на входе в реактор

$$\Delta H \alpha_A = C_P^*(T - T_0)$$

$$Q_{\text{ПРИХОД}} = Q_{\text{Х.Р.}} = \Delta H \alpha_A$$

$$\Delta H \neq f(T), \quad \alpha_A = f(T)$$

$Q_{\text{ПРИХОД}} = Q_{\text{Х.Р.}} = f(T)$ – S-образная кривая выделения тепла

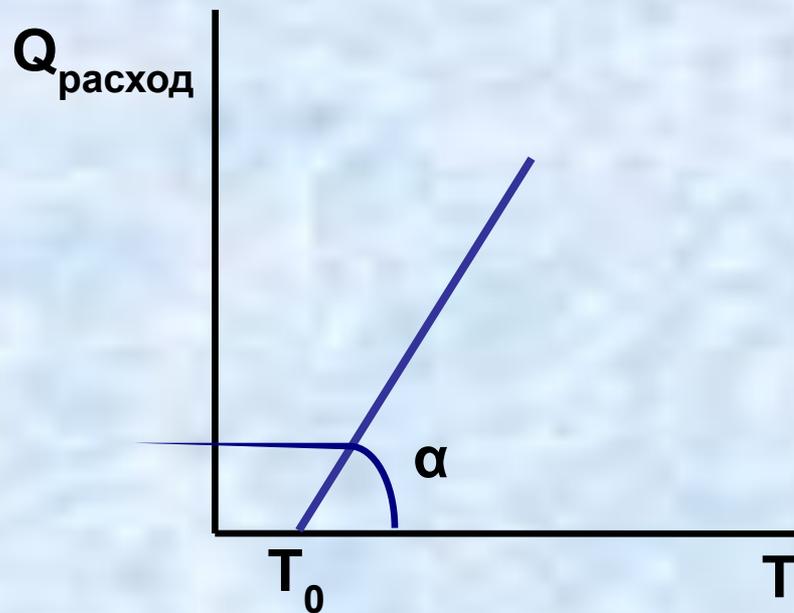


$$\Delta H \alpha_A = C_p^*(T - T_0)$$

$$Q_{\text{РАСХОД}} = Q_{\text{КОНВ.}} = C_p^*(T - T_0) = C_p^*T - C_p^*T_0 = bT + a$$

$$C_p^* \neq f(T)$$

$$Q_{\text{РАСХОД}} = Q_{\text{КОНВ.}} = f(T) - \text{прямая теплоотвода с } \operatorname{tg} \alpha = C_p^*$$

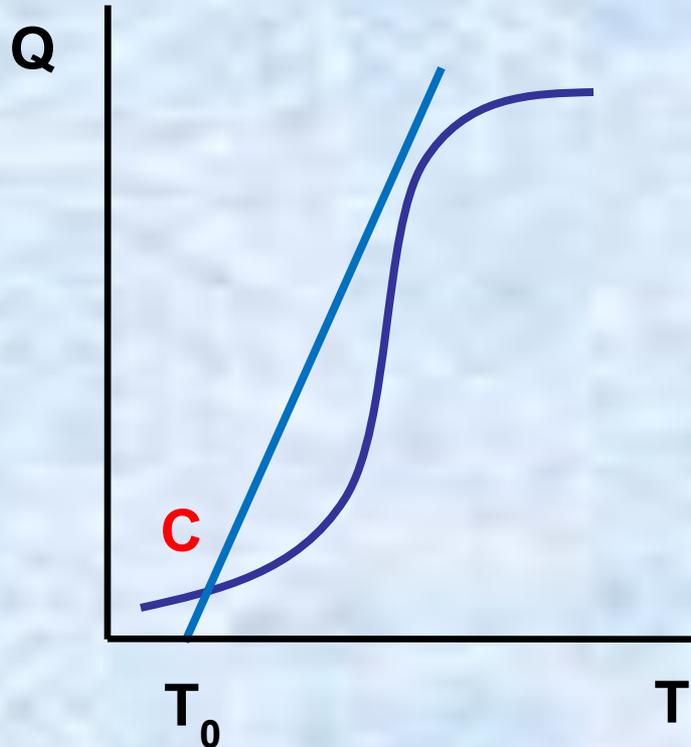


Если S-образную кривую выделения тепла совместить с прямой теплоотвода и поместить их на общий график, то в зависимости от значения параметров взаимное расположение их может быть различным.

Точки пересечения S-образной кривой и прямой (A, B и C) отвечают тепловому равновесию (стационарному состоянию), когда скорость прихода тепла равна скорости расхода тепла.

Может существовать несколько стационарных состояний. Однако не все режимы, соответствующие точкам пересечения, равноценны и не все могут быть рекомендованы для промышленных условий.

$$Q_{\text{ПРИХОД}} = Q_{\text{РАСХОД}} \quad \text{или} \quad Q_{\text{Х.Р.}} = Q_{\text{КОНВ.}}$$



Точка C – нижнее стационарное состояние, которое устойчиво. Возникает в области низких температур и малых конверсий. Низкие скорость реакции и производительность реактора.

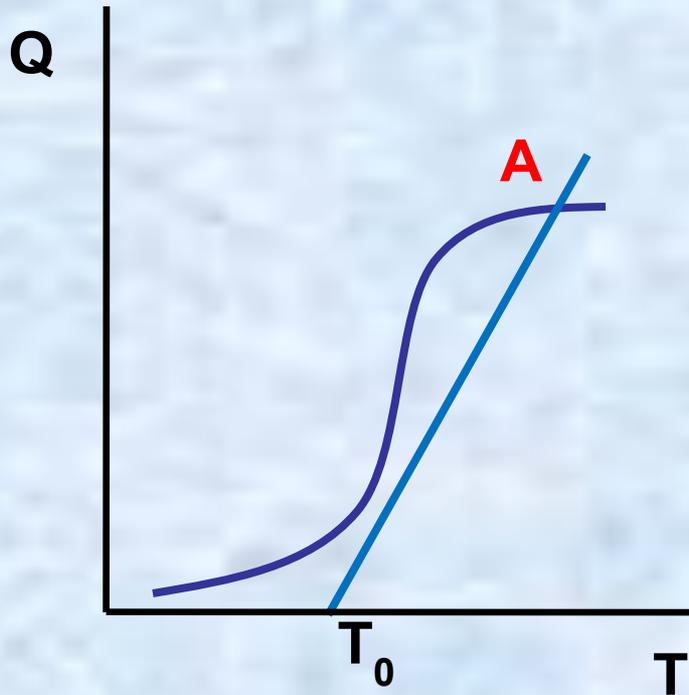
При повышении температуры скорость теплоотвода выше скорости теплоподвода, реакционная смесь охлаждается.

При понижении температуры скорость теплоотвода ниже скорости теплоподвода, реакционная смесь нагревается.

В обоих случаях после снятия возмущения устойчивый режим восстанавливается (возвращается в точку С).

Этот режим практического интереса не представляет, при столь низкой температуре невозможно получить высокую степень превращения без подвода тепла извне.

$$Q_{\text{ПРИХОД}} = Q_{\text{РАСХОД}} \quad \text{или} \quad Q_{\text{Х.Р.}} = Q_{\text{КОНВ.}}$$

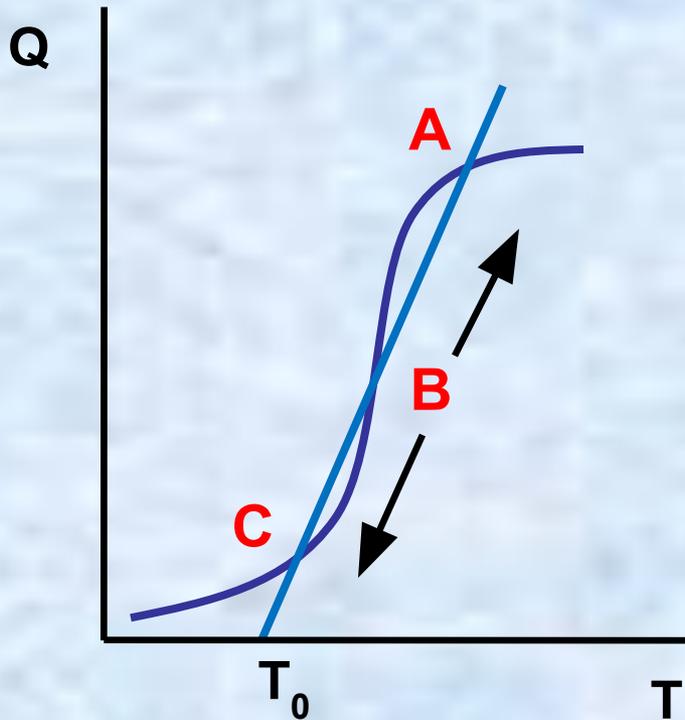


Точка *A* – верхнее стационарное состояние, которое устойчиво. Возникает в области высоких температур и конверсий. Высокие скорость реакции и производительность реактора. Такой режим представляет практический интерес.

При понижении температуры возникает неравенство $Q_{\text{х.р.}} > Q_{\text{конв.}}$, после снятия возмущения режим восстанавливается (возвращается в точку **A). В результате возмущения скорость теплоотвода ниже скорости тепловыделения, реакционная смесь нагревается.**

При повышении температуры возникает неравенство $Q_{\text{х.р.}} < Q_{\text{конв.}}$, после снятия возмущения режим восстанавливается (возвращается в точку **A). В результате возмущения скорость теплоотвода выше скорости подвода тепла, реакционная смесь охлаждается.**

$$Q_{\text{ПРИХОД}} = Q_{\text{РАСХОД}} \quad \text{или} \quad Q_{\text{Х.Р.}} = Q_{\text{КОНВ.}}$$



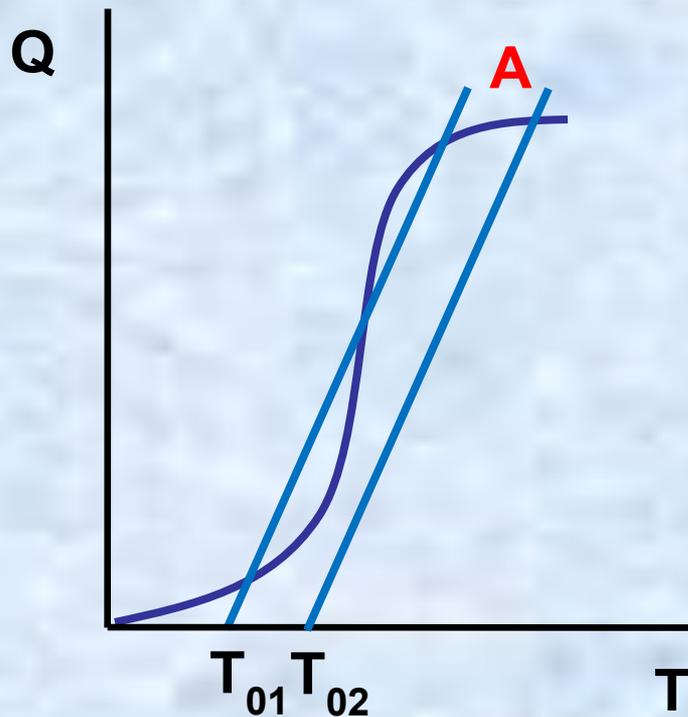
Точка B – неустойчивое стационарное состояние. После повышения или понижения температуры процесс не возвращается в точку **B** после снятия возмущения.

При понижении температуры возникает неравенство $Q_{Х.Р.} < Q_{КОНВ.}$, после снятия возмущения режим не восстанавливается (не возвращается в точку **B), перейдет в стационарное состояние, соответствующее точке **C**, характеризуемой низкой степенью превращения.**

При повышении температуры возникает неравенство $Q_{Х.Р.} > Q_{КОНВ.}$, после снятия возмущения режим не восстанавливается (не возвращается в точку **B), перейдет в стационарное состояние, соответствующее точке **A**, характеризуемой высокой степенью превращения. Однако этот режим обладает малым запасом устойчивости.**

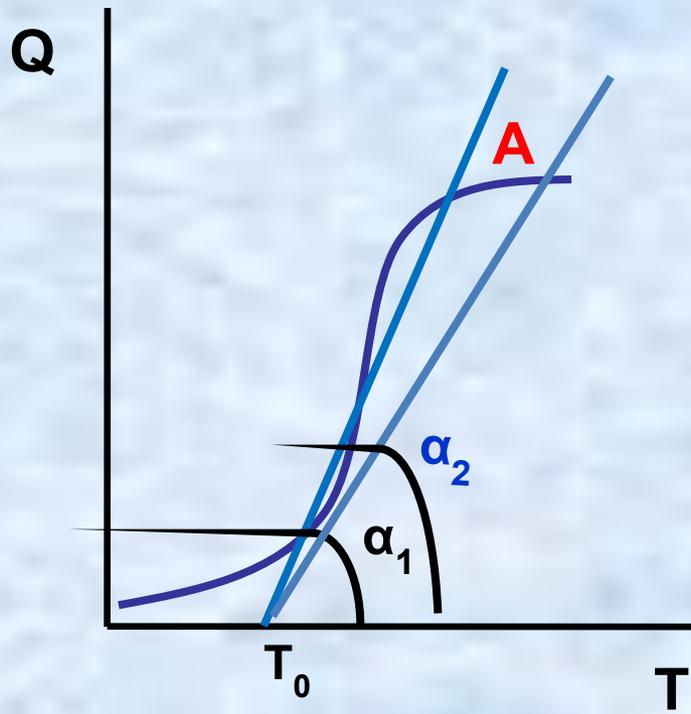
Чтобы перевести процесс из невыгодного режима в оптимальный, соответствующий точке А, изменяют параметры технологического процесса, тем самым изменяют взаимное расположение прямой теплоотвода и S-образной кривой выделения тепла.

Не изменяя положения S-образной кривой возможно перемещать прямую теплоотвода вправо или влево, либо изменять угол её наклона.



$$T_{02} > T_{01}$$

*Для перемещения прямой теплоотвода вправо повышают температуру реакционной смеси T_0 на входе в реактор. Прямая теплоотвода и S-образная кривая выделения тепла пересекаются в точке **A**.*

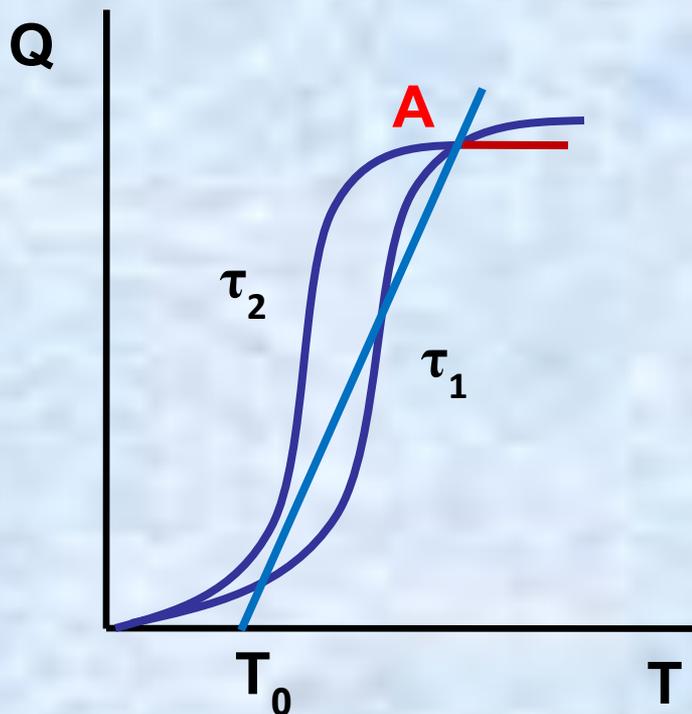


Для уменьшения угла наклона прямой теплоотвода увеличивают начальную концентрацию реагента на входе в реактор. Уменьшается $\text{tg } \alpha$. Прямая теплоотвода и S-образная кривая выделения тепла пересекаются в точке **A**.

$$\text{tg } \alpha_2 < \text{tg } \alpha_1$$

$$C_p^* = \rho C_p$$

$$\frac{C_{A0}}{C_{A02}} > C_{A01}$$



$$\tau_2 > \tau_1$$

Если увеличить время пребывания реагентов в реакторе τ , то количество выделяющегося тепла $Q_{X.P.}$ возрастёт.

S-образная кривая выделения тепла сместится влево, прямая теплоотвода и кривая пересекутся в точке **A.**

Простая необратимая эндотермическая ($\Delta H > 0$) реакция РИС-Н-А

Температура реакционной смеси на входе в реактор выше температуры в реакторе.

$$\Delta H \alpha_A = -C_p^*(T - T_0)$$

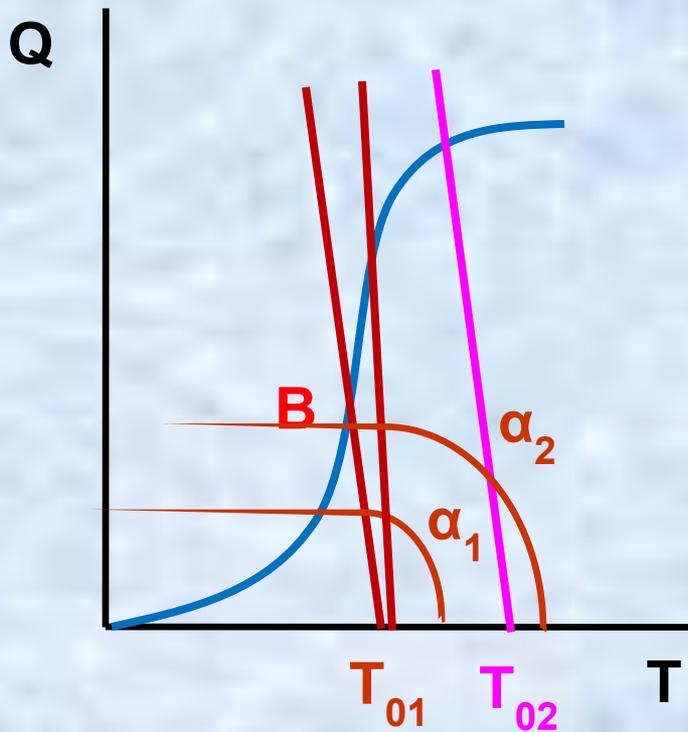
$$Q_{\text{РАСХОД}} = \Delta H \alpha_A \quad Q_{\text{РАСХОД}} = f(T) - S\text{-образная кривая}$$

$$Q_{\text{ПРИХОД}} = -C_p^*(T - T_0) = C_p^*T_0 - C_p^*T = a + bT$$

$$Q_{\text{ПРИХОД}} = f(T) - \text{прямая с } \operatorname{tg} \alpha = -C_p^*$$

$\operatorname{tg} \alpha$ отрицательный, угол наклона больше 90° .

Будет только одна точка пересечения.



$$T_{02} > T_{01}$$

$$tq \alpha_2 < tq \alpha_1$$

$$C_{A02} > C_{A01}$$

Перемещение точки пересечения в область высокой степени превращения достигается передвижением прямой вправо.

1. Повышают температуру реакционной смеси на входе в реактор от T_{01} до T_{02} при постоянном угле наклона α_1 .

2. Уменьшают угол наклона от α_1 до α_2 при постоянной T_{01} за счёт увеличения C_{A0} .

Любой стационарный режим устойчивый.

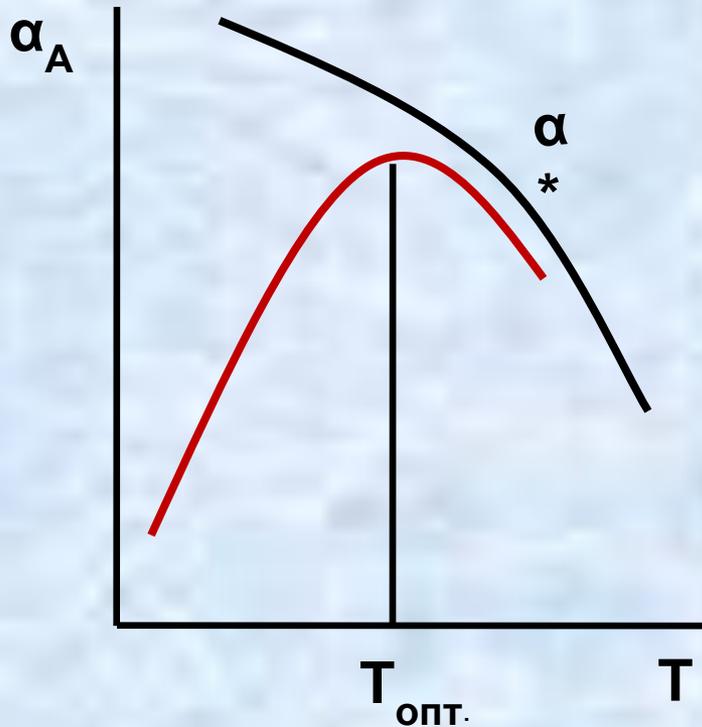
$$\Delta H \alpha_A = C_p^*(T - T_0)$$

$Q_{\text{ПРИХОД}} = \Delta H \alpha_A = f(T)$ – кривая с максимумом

$\alpha_A = f(T)$ – кривая с максимумом

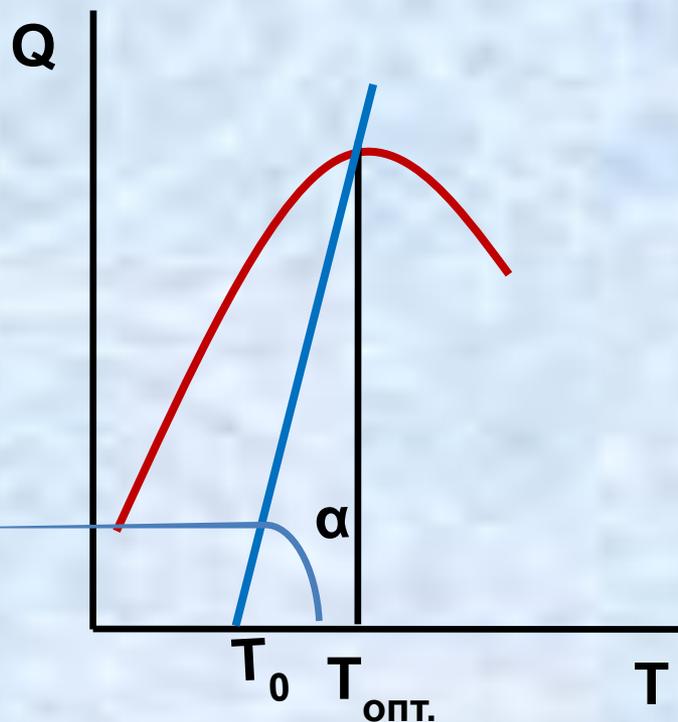
$Q_{\text{РАСХОД}} = C_p^*(T - T_0)$ – прямая

с $\text{tg } \alpha = C_p^*$



Изменяется вид S-образной кривой выделения тепла, она достигает максимума, а затем снижается вдоль кривой равновесной степени превращения α^ .*

α^ уменьшается при увеличении температуры.*



Процесс ведут в таком режиме, чтобы прямая теплоотвода проходила на кривой выделения тепла через максимум, определяющий оптимальную температуру в реакторе.

Для каждого практического случая существует оптимальный, наиболее выгодный режим работы реактора, который устанавливается с учётом ряда факторов, влияющих на экономичность процесса.

Этот режим рассчитывают путём подбора соответствующих значений параметров.

Графический метод определения оптимальных условий работы РИС-Н-А может применяться для расчёта других режимов работы реактора.

Простая необратимая экзотермическая ($\Delta H < 0$) реакция

$$\Delta H \alpha_A = \frac{F K \Delta T}{B_{A0}}$$

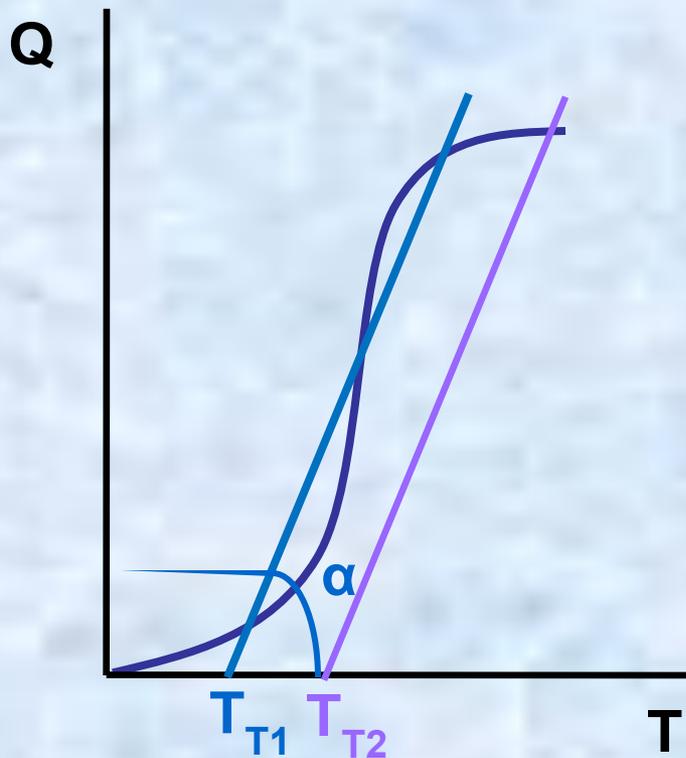
$$Q_{\text{ПРИХОД}} = \Delta H \alpha_A \quad Q_{\text{ПРИХОД}} = f(T) - \text{S-образная кривая выделения тепла}$$

$$Q_{\text{РАСХОД}} = \frac{F K \Delta T}{B_{A0}} = \frac{F K}{B_{A0}} (T - T_T) = \frac{F K}{B_{A0}} T - \frac{F K}{B_{A0}} T_T = bT + a$$

$$Q_{\text{РАСХОД}} = f(T) - \text{прямая с } \operatorname{tg} \alpha = \frac{F K}{B_{A0}}$$

F – поверхность теплообмена; K – коэффициент теплопередачи;
 B_{A0} – расход реагента; T_T – температура теплоносителя

Простая необратимая экзотермическая ($\Delta H < 0$) реакция



$$T_{T2} > T_{T1}$$

T_T – температура теплоносителя

Простая необратимая экзотермическая ($\Delta H < 0$) реакция

$$C_p^*(T - T_0) + \frac{F K \Delta T}{V_{A0}} = \Delta H \alpha_A$$

$$Q_{\text{ПРИХОД}} = \Delta H \alpha_A$$

$Q_{\text{ПРИХОД}} = f(T)$ – S-образная кривая

$$Q_{\text{РАСХОД}} = C_p^*(T - T_0) + \frac{F K \Delta T}{V_{A0}}$$

$$Q_{\text{РАСХОД}} = f(T) - \text{прямая с } \text{tg} \alpha = f(C_p^*, F, K, V_{A0})$$

