

# Тема 5: ОТРАВЛЕНИЕ РЕАКТОРА КСЕНОНОМ

# КСЕНОН

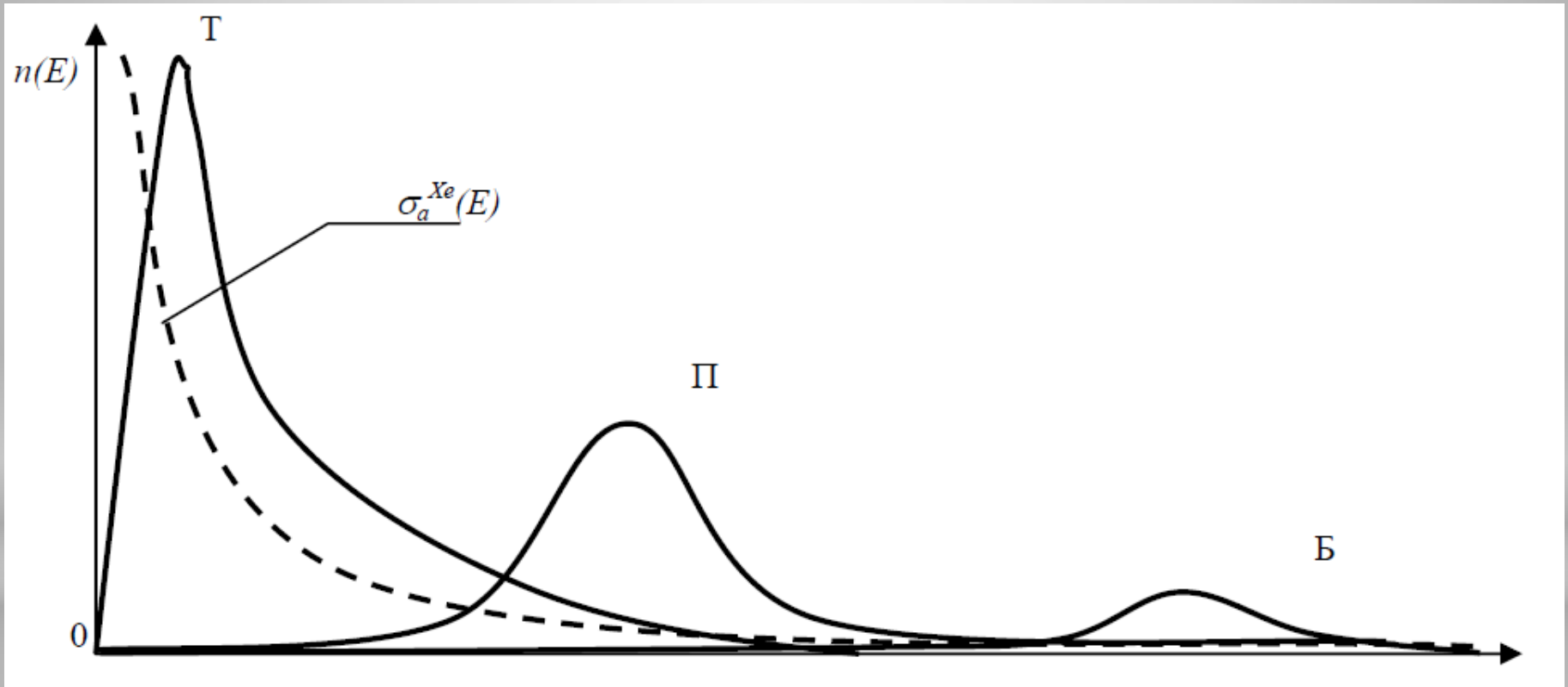
$$\square \sigma_{a0}^{Xe} = 2720000 \text{ барн}$$

$$\square \gamma_{Xe} = 0.003$$

$$\square T_{1/2}^{Xe} = 9.2 \text{ часа}$$

$$\square \lambda^{Xe} = 2.09 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$$

# Различия в поглощении нейтронов ксеноном-135 в тепловом, быстром и промежуточном реакторах.



# Количественные меры оценки

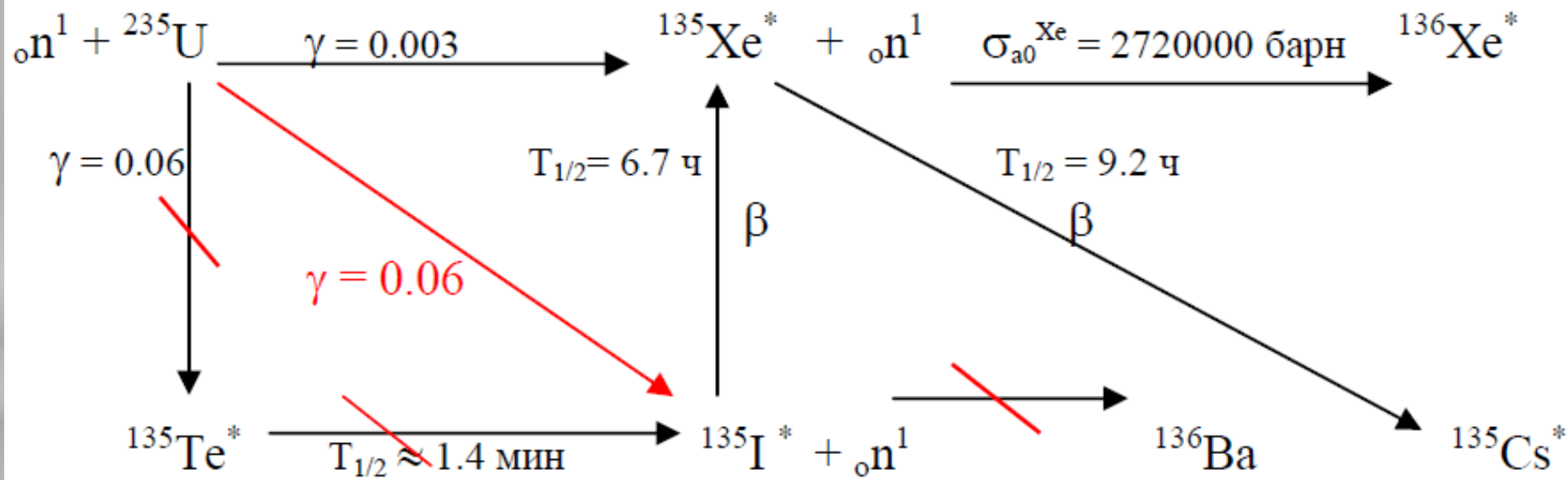
□ относительная доля поглощаемых ксеноном нейтронов

$$q_{Xe}(t) = \frac{\sigma_a^{Xe} N_{Xe}(t) \cdot \Phi(t)}{\sigma_a^5 \cdot N_5(t) \cdot \Phi(t)} = \frac{\sigma_a^{Xe}}{\sigma_a^5 N_5(t)} \cdot N_{Xe}(t)$$

□ потери реактивности от отравления ксеноном

$$\rho_{Xe}(t) = -\theta \cdot q_{Xe}(t) = -\frac{\sigma_a^{Xe} \theta}{\sigma_a^5 N_5(t)} \cdot N_{Xe}(t)$$

# Схема образования и убыли $^{135}\text{Xe}$ и ДУ отравления реактора ксеноном



# Система ДУ

Скорости прибыли Хе

Скорости убыли Хе

$$\frac{dN_{Xe}}{dt} = \underbrace{\gamma_{Xe} \sigma_f^5 N_5(t) \Phi(t)}_{\text{как прямого продукта деления}} + \underbrace{\lambda_J N_J(t)}_{\text{как результат распада йода}} - \underbrace{\sigma_a^{Xe} N_{Xe}(t) \Phi(t)}_{\text{за счёт поглощения тепловых нейтронов}} - \underbrace{\lambda_{Xe} N_{Xe}(t)}_{\text{в результате его распада}}.$$

$$\frac{dN_J}{dt} = \gamma_J \sigma_f^5 N_5(t) \Phi(t) - \lambda_J N_J(t)$$

# Стационарное отравление реактора ксеноном

условиями стационарности отравления реактора  $^{135}\text{Xe}$

а)  $\Phi(t) = idem = \Phi_0,$

б)  $N_{\text{Xe}}(t) = idem = N_{\text{Xe}}^{\text{CT}},$

в)  $N_J(t) = N_J^{\text{CT}},$

последние два условия равносильны условиям:

$$\frac{dN_{\text{Xe}}}{dt} = 0 = \frac{dN_J}{dt}$$

# Величина стационарного отравления ксеноном

$$0 = \gamma_{Xe} \sigma_f^5 N_5 \Phi_o + \lambda_J N_J^{cm} - (\sigma_a^{Xe} \Phi_o + \lambda_{Xe}) \cdot N_{Xe}^{cm}$$

$$0 = \gamma_J \sigma_f^5 N_5 \Phi_o - \lambda_J N_J^{cm}.$$

$$N_J^{cm} = \frac{\gamma_J}{\lambda_J} \sigma_f^5 N_5 \Phi_o$$

$$N_{Xe}^{cm} = \frac{(\gamma_J + \gamma_{Xe}) \sigma_f^5 N_5 \Phi_o}{\lambda_{Xe} + \sigma_a^{Xe} \Phi_o}$$



# Потери запаса реактивности при стационарном отравлении

$$\rho_{Xe}^{ст} = -\theta \frac{\sigma_a^{Xe}}{\sigma_a^5 N_5} \cdot N_{Xe}^{ст} = -\frac{\sigma_f^5}{\sigma_a^5} \theta \frac{\sigma_a^{Xe} \Phi_o}{\lambda_{Xe} + \sigma_a^{Xe} \Phi_o}$$

определяются:

- а) Величиной концентрации урана-235
- б) Величиной уровня мощности

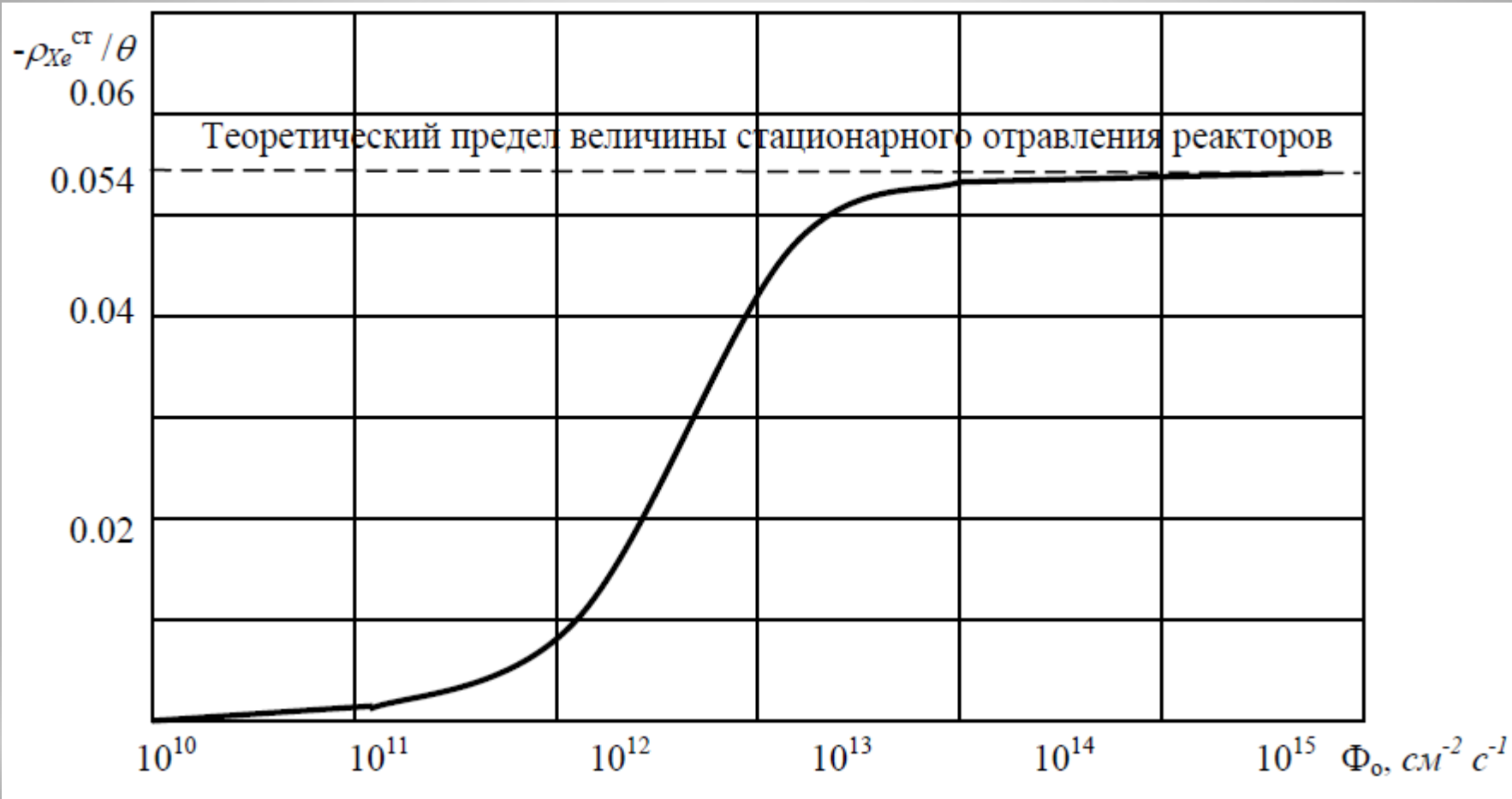
# Зависимость стационарного отравления ксеноном от мощности реактора

$$\rho_{Xe}^{ст} \approx -0.054 \cdot \theta \left( 1 + \frac{7.7 \cdot 10^{12}}{\Phi_0} \right)$$

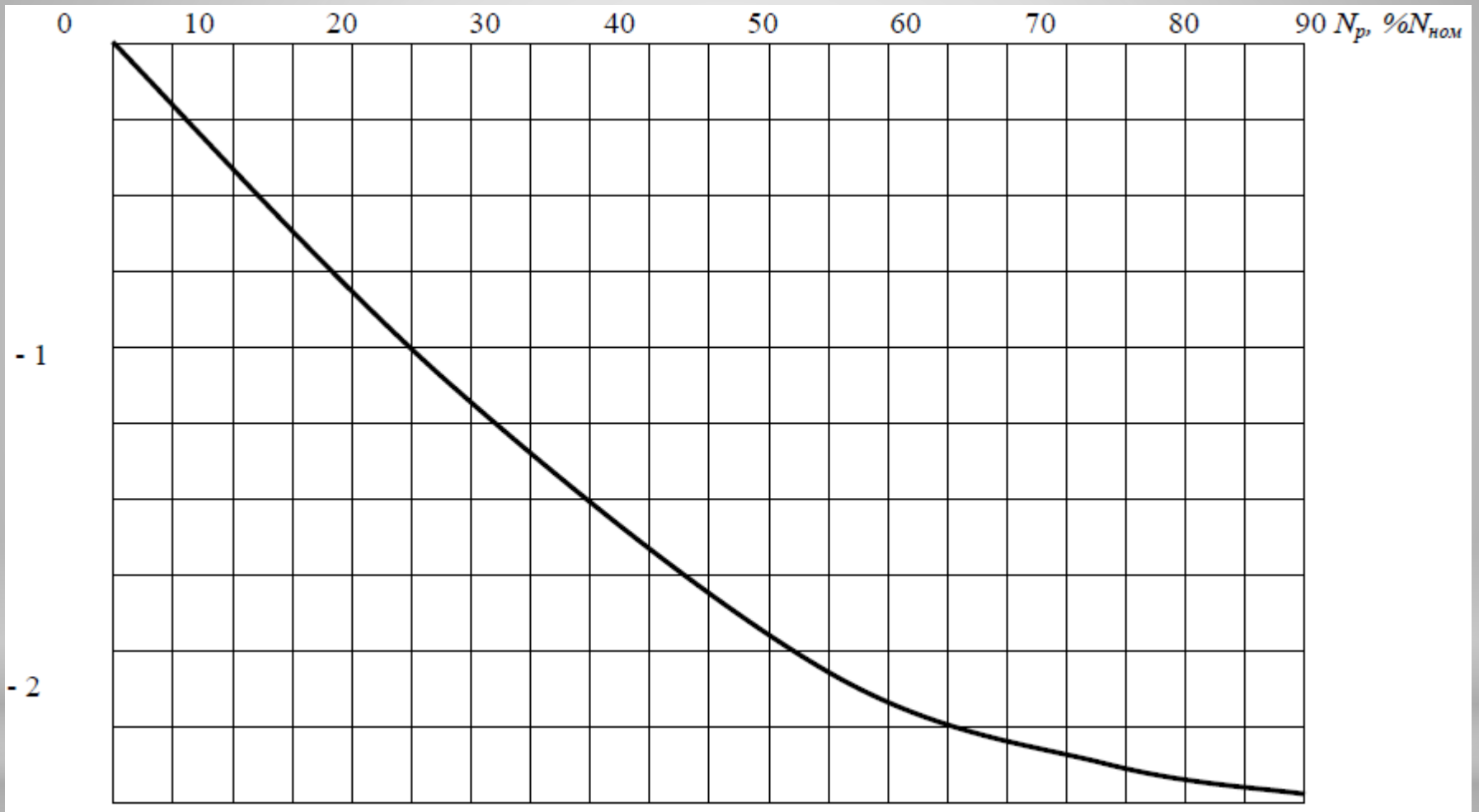
при  $\Phi_0 < 10^{11}$  нейтр/см<sup>2</sup>с

при  $\Phi_0 > 10^{14}$  нейтр/см<sup>2</sup>с

В интервале  $\Phi_0$  ( $10^{11} \div 10^{14}$  нейтр/см<sup>2</sup>с)



Качественный вид зависимости величины стационарного отравления реакторов Xe от величины средней плотности потока тепловых нейтронов в топливе ТВЭЛОВ

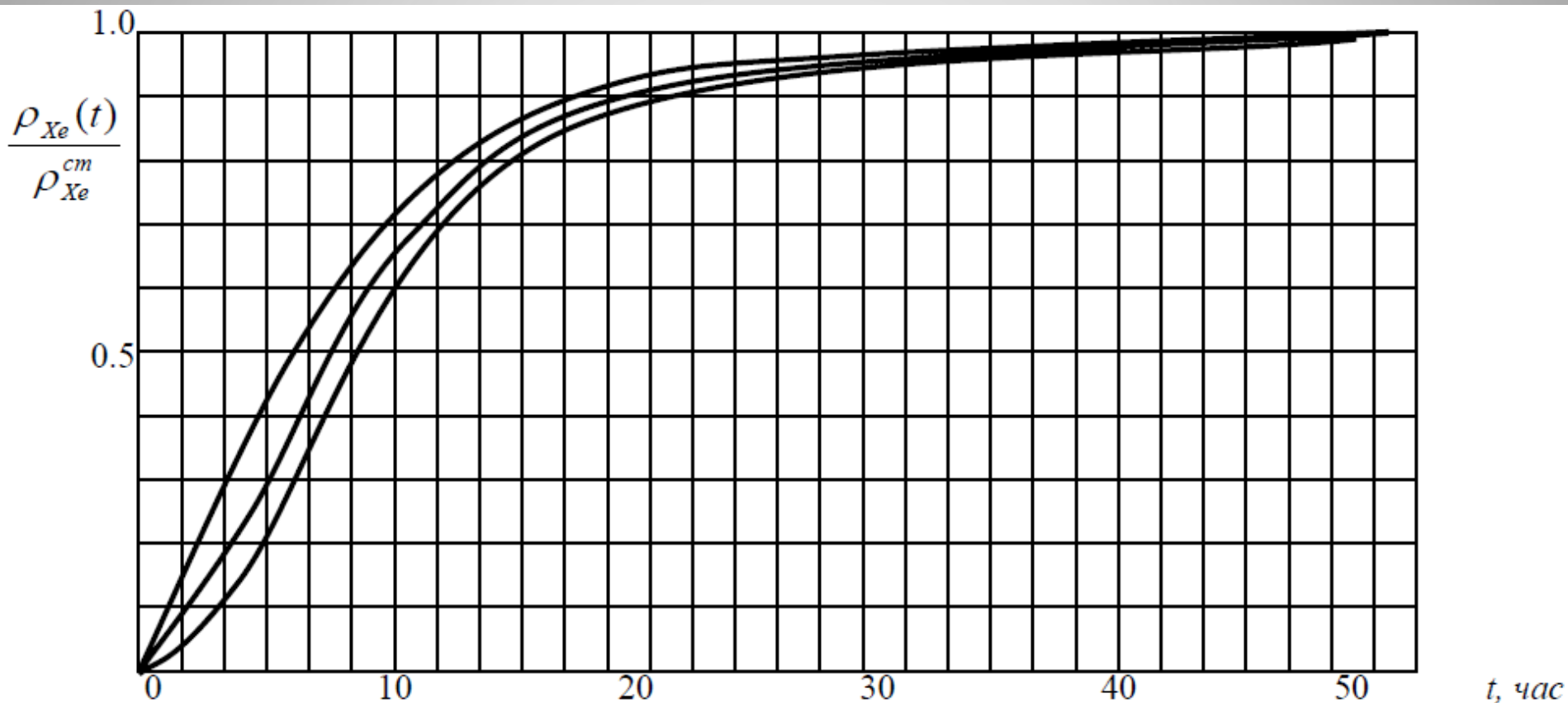


Типичный качественный вид кривой стационарных отравлений реактора

Характер роста потерь запаса  
реактивности из-за отравления  
 $^{135}\text{Xe}$  первоначально  
разотравленного реактора в  
первый период работы на  
постоянном уровне мощности

$$\frac{\rho_{Xe}(t)}{\rho_{Xe}^{cm}} = 1 + \frac{1}{\gamma_J + \gamma_{Xe}} \left[ \frac{\lambda_J \cdot \gamma_J}{\lambda_{Xe} + \sigma_a^{Xe} \Phi_o - \lambda_J} - \gamma_J \right] \exp[-(\lambda_{Xe} + \sigma_a^{Xe} \Phi_o)t] - \frac{\gamma_J}{\gamma_J + \gamma_{Xe}} \cdot \frac{\lambda_{Xe} + \sigma_a^{Xe} \Phi_o}{\lambda_{Xe} + \sigma_a^{Xe} \Phi_o - \lambda_J} \cdot \exp(-\lambda_J t).$$

$$\frac{\rho_{Xe}(t)}{\rho_{Xe}^{cm}} = 1 - \exp(-\lambda_J t)$$



Переходные процессы нестационарного выхода первоначально разотравленного реактора на стационарный уровень отравления.

# Время наступления стационарного отравления реактора

$$t_{Xe}^{ст} \approx 7 \times 6.7 \approx 47 \text{ час} \approx 2 \text{ суток}$$

**Эффективный период полураспада  
ксенон**

$$T_{Xe}^* = \frac{9,2}{1 + 0,04 \cdot N_p}, [\text{час}]$$



# Переотравление после останова реактора («Йодная яма»)

Соотношение скоростей  
β-распада  $^{135}\text{I}$  и  $^{135}\text{Xe}$  в  
реакторе

$$\lambda_J = 2.87 \cdot 10^{-5} \text{C}^{-1} > \lambda_{Xe} = 2.1 \cdot 10^{-5} \text{C}^{-1}$$

$$N_J^{cm} = \frac{\gamma_J}{\lambda_J} \cdot \sigma_f^5 N_5 \Phi_o$$

$$N_{Xe}^{cm} = \frac{\gamma_J + \gamma_{Xe}}{\lambda_{Xe} + \sigma_a^{Xe} \Phi_o} \cdot \sigma_f^5 N_5 \Phi_o$$

$$\frac{N_J^{cm}}{N_{Xe}^{cm}} = \frac{\gamma_J}{\gamma_J + \gamma_{Xe}} \cdot \frac{\lambda_{Xe} + \sigma_a^{Xe} \Phi_o}{\lambda_J}$$

$$N_J^{cm} / N_{Xe}^{cm} \approx 0.6897 + 8.93 \cdot 10^{-14} \Phi_o$$

*Стационарная концентрация йода выше стационарной концентрации ксенона  
( $N_J^{cm} > N_{Xe}^{cm}$ )*

$$\lambda_J N_J^{cm} - \lambda_{Xe} N_{Xe}^{cm} > 0$$

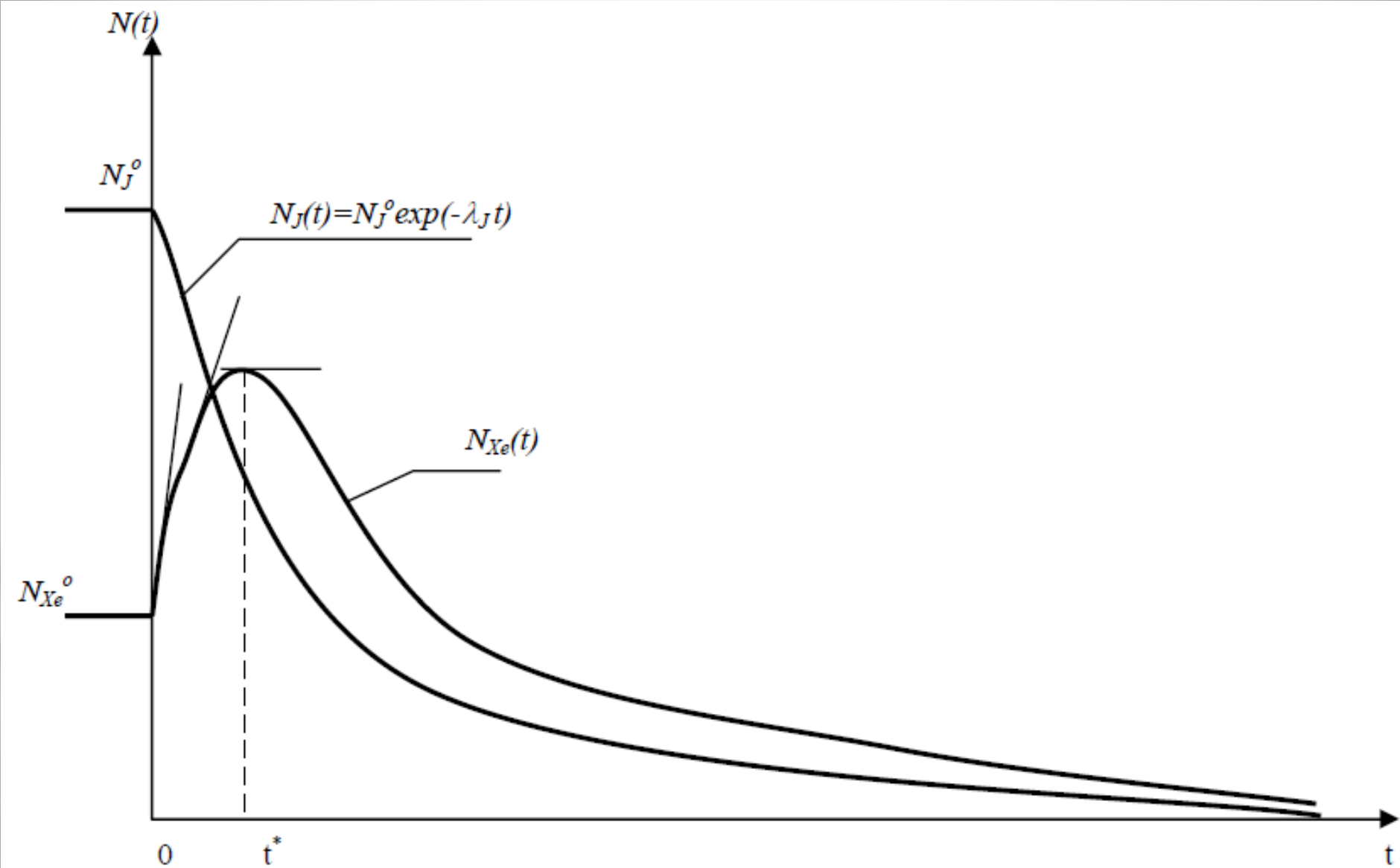
*Величина скорости радиоактивного распада йода на любых реальных уровнях мощности реактора всегда выше скорости радиоактивного распада ксенона*

# Механизм образования «йодной ямы» после останова

$$\frac{dN_{Xe}}{dt} = \lambda_J N_J(t) - \lambda_{Xe} N_{Xe}(t)$$

$$\frac{dN_J}{dt} = -\lambda_J N_J(t)$$

$$N_J(t) = N_J^0 \exp(-\lambda_J t).$$



Качественная картина изменений концентраций йода и ксенона после останова реактора.

# Йодная яма

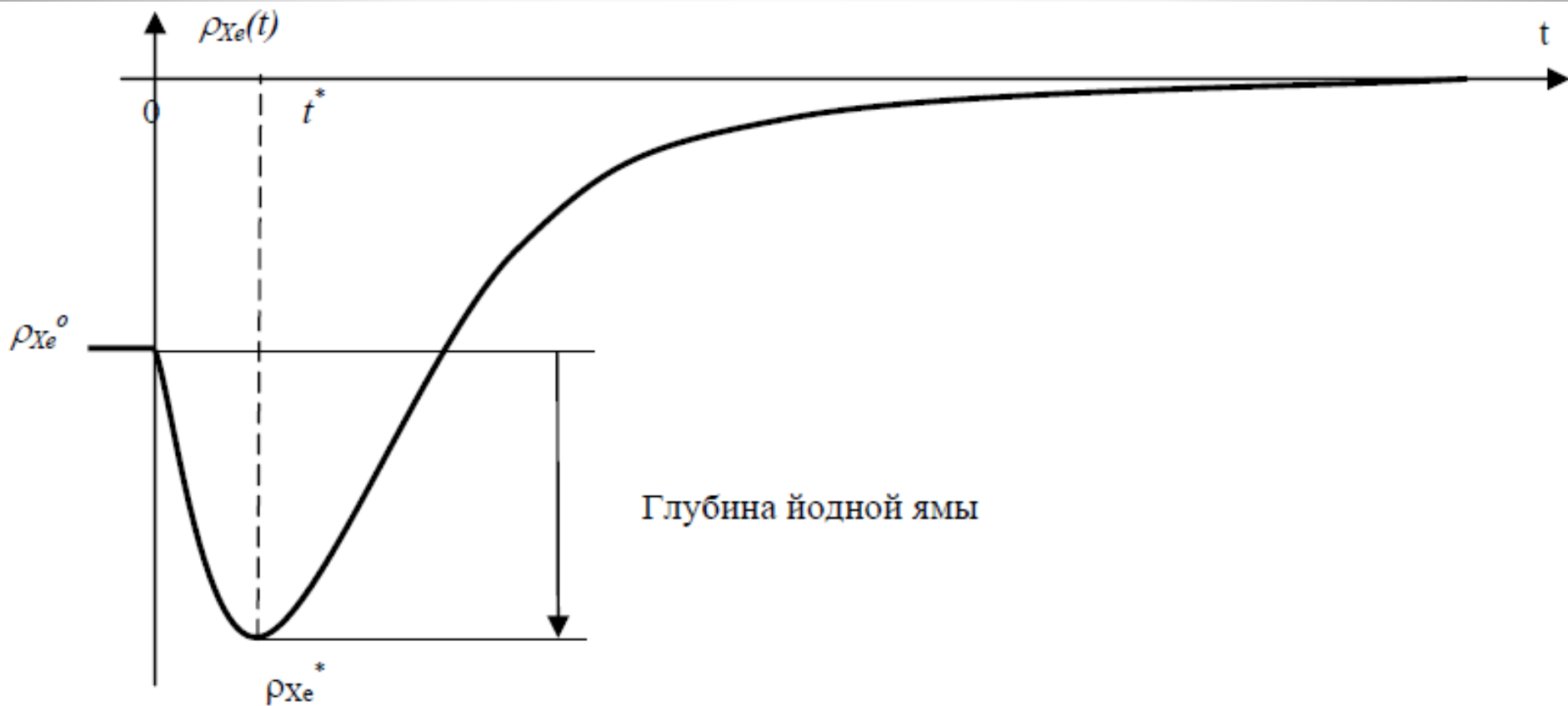


График нестационарного переотравления реактора ксеноном после останова («йодная яма»)

# Характеризуется

□ *глубина ( $\Delta p_{\text{Xe}^*}$ )*

□ *время наступления максимума ( $t^*$ )*

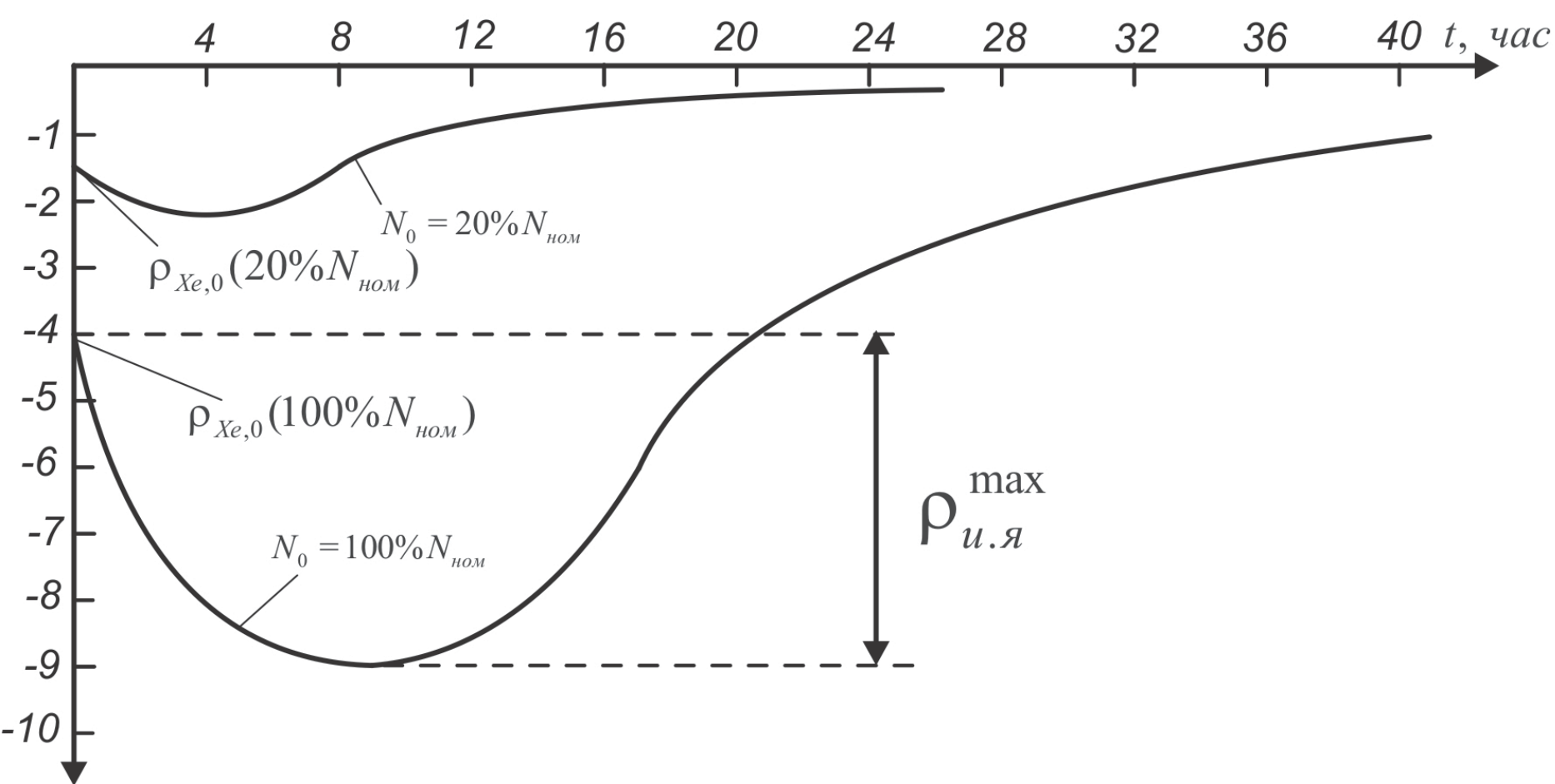


# Факторы, определяющие характеристики йодных ям

Определяются только уровнем  
стационарной мощности, на  
котором реактор работал до  
останова

***Полное разотравление  
реактора по ксенону  
наступает за трое суток  
стоянки реактора***

Практики-операторы  
пользуются либо *кривыми*  
*йодных ям*, либо  
*расчётными таблицами*  
*нестационарных*  
*переотравлений реактора*  
*после останова.*



Кривые йодных ям для УТР после длительной работы на мощности

N <sub>p</sub> <sup>o</sup> , %	Значение отравления реактора ксеноном через ... час после останова															
20																
40																
60																
80																
100																

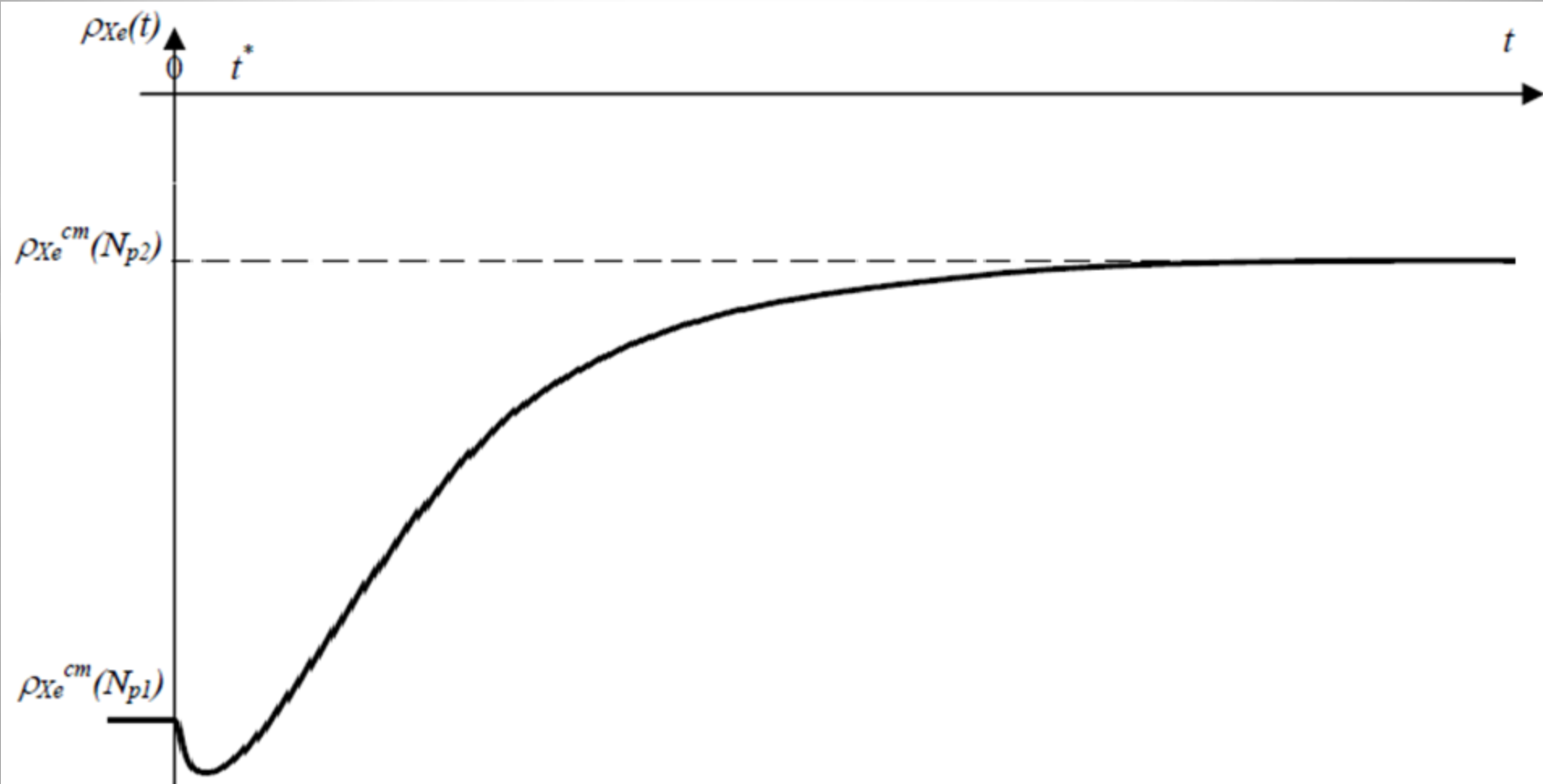
Другой способ практического учёта нестационарных переотравлений реактора после останова - табличный.

# Опасность йодной ямы

***Оперативное время***

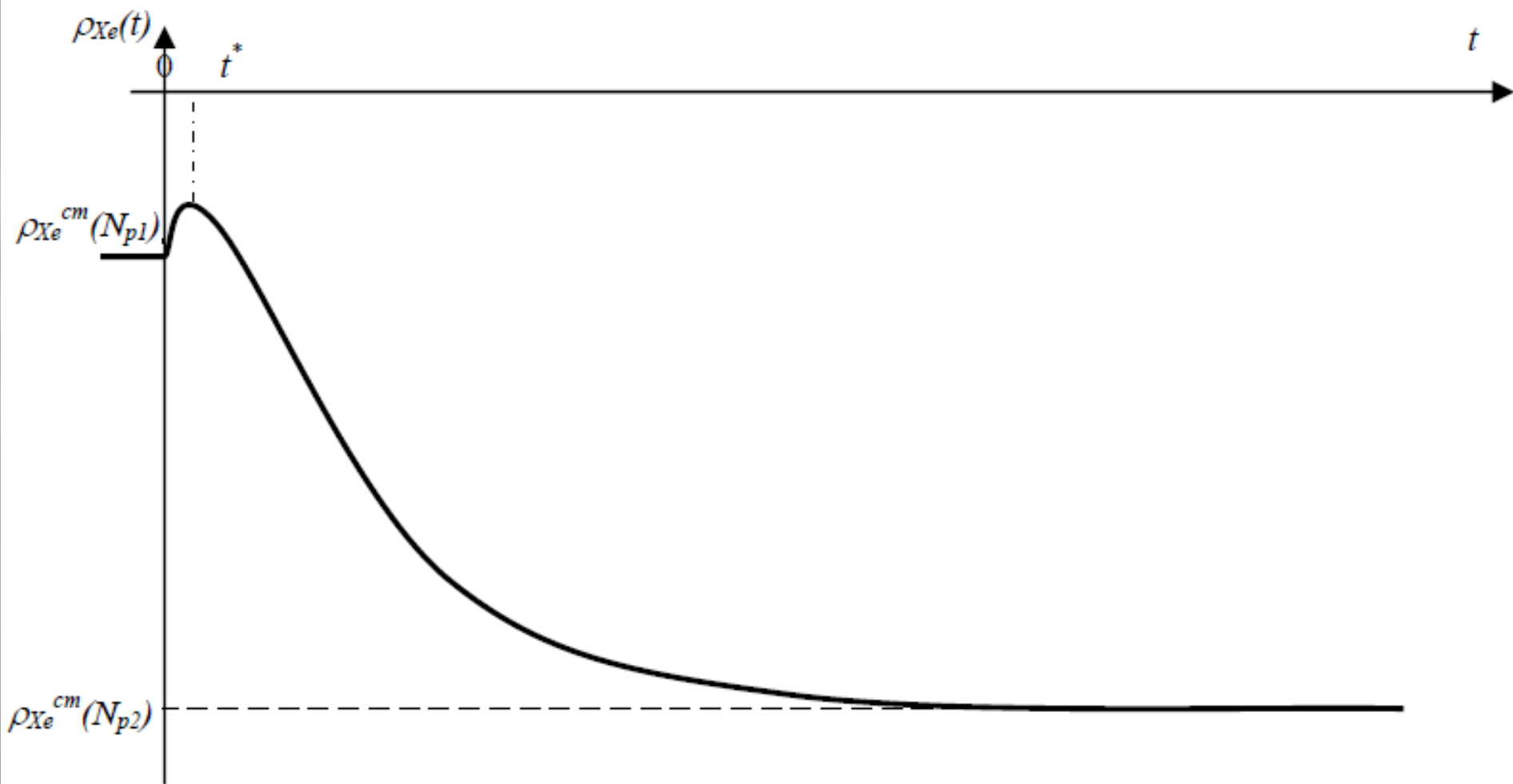
***Время вынужденной стоянки***

# Характер переотравления с переходом на более низкий уровень мощности





# Переотравление реактора после повышения уровня МОЩНОСТИ



# Расчёт изменений потерь реактивности за счёт переотравлений реактора

$$\Delta\rho_{Xe} = \rho_{Xe2} - \rho_{Xe1}$$

$$\rho_{Xe}(t) \approx \rho_{Xe}^{cm}(N_p) [1 - \exp(-\lambda_I t)],$$

$$\rho_{Xe}(t) \approx \rho_{Xe}^{cm}(N_p) [1 - \exp(-t / 9.67)],$$

$$\rho_{Xe}(t) \approx \rho_{Xe}^{cm}(N_p) \cdot \left(1 - 2^{-\frac{t}{6.7}}\right).$$