

Тепловой и гидравлический расчёт расчёт ядерного реактора

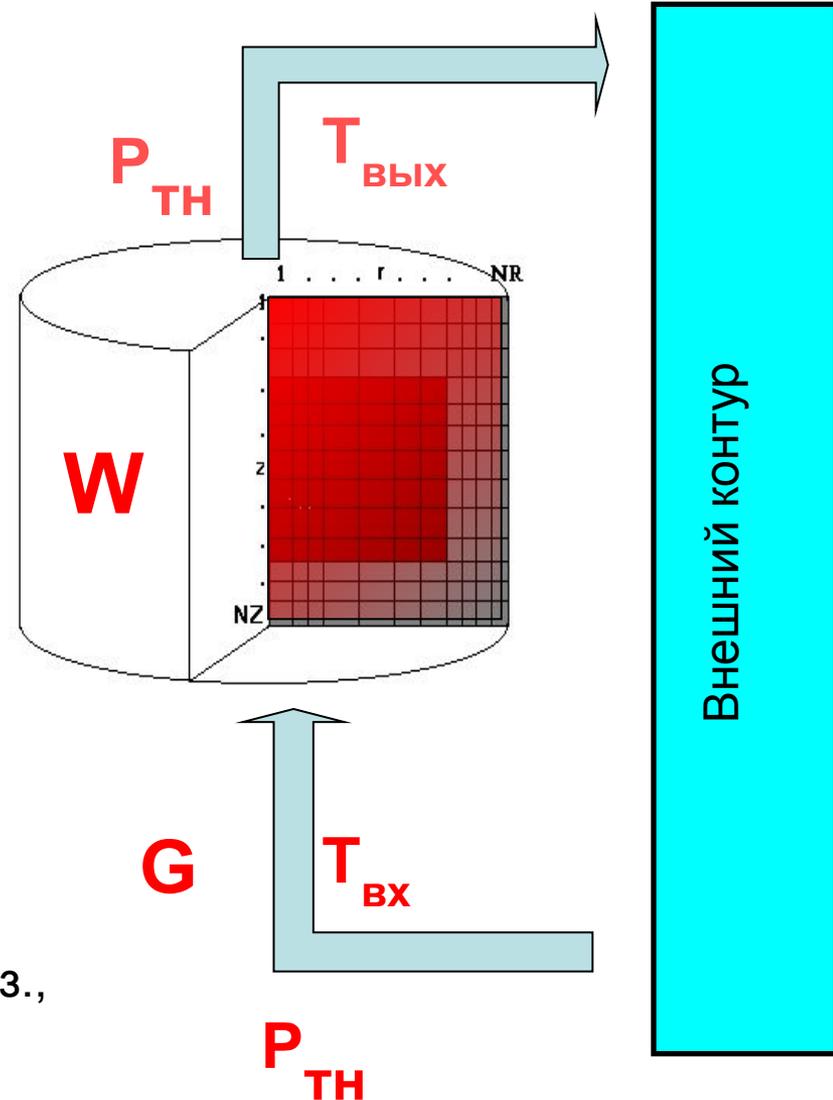
В стационарном случае

Известны:

- W – тепловая мощность реактора, МВт
- G - массовый расход теплоносителя через реактор, кг/сек
- $T_{\text{ВХ}}$ – температура теплоносителя на входе в реактор.
- $P_{\text{ТН}}$ – давление теплоносителя

Кроме этого, известны:

- конструкция активной зоны,
- направление движения теплоносителя,
- фазовое состояние теплоносителя перед а.з.,
- и т.п.



1. Как течет теплоноситель? По отдельным каналам и нет?
2. Делим тракт движения теплоносителя на участки
3. Зная W и конструкцию (размеры), определяем энергонапряженность топлива q_v и тепловой поток через поверхность твэла q_s
4. Зная P и $T_{\text{ТН}}$ определяем фазовое состояние теплоносителя
5. Определяем коэффициент теплоотдачи α

$$\alpha = Nu \cdot \lambda / d_{\text{а}}$$

$$Nu = 0.0023 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{0.4} \cdot C_f$$

6. Определяем коэффициент местного сопротивления ζ и потери давления ΔP

$$\Delta P = \zeta \cdot \left(\frac{l}{d_{\text{а}}} \right) \cdot \left(\frac{\rho \cdot w^2}{2} \right)$$

7. Зная q_s , $T_{\text{ТН}}$ и α определяем температуру внешней поверхности оболочки твэла

$$t_s = t_{\text{дi}} + \frac{q_s}{\alpha}$$

8. Зная q_v определяем температуры в таблетке и оболочке

$$T(r) = T_0 + \frac{q_v \cdot r_0^2}{4 \cdot \lambda} \cdot \left[1 - \left(\frac{r}{r_0} \right)^2 \right]$$

а также в замедлителе и других конструкционных материалах

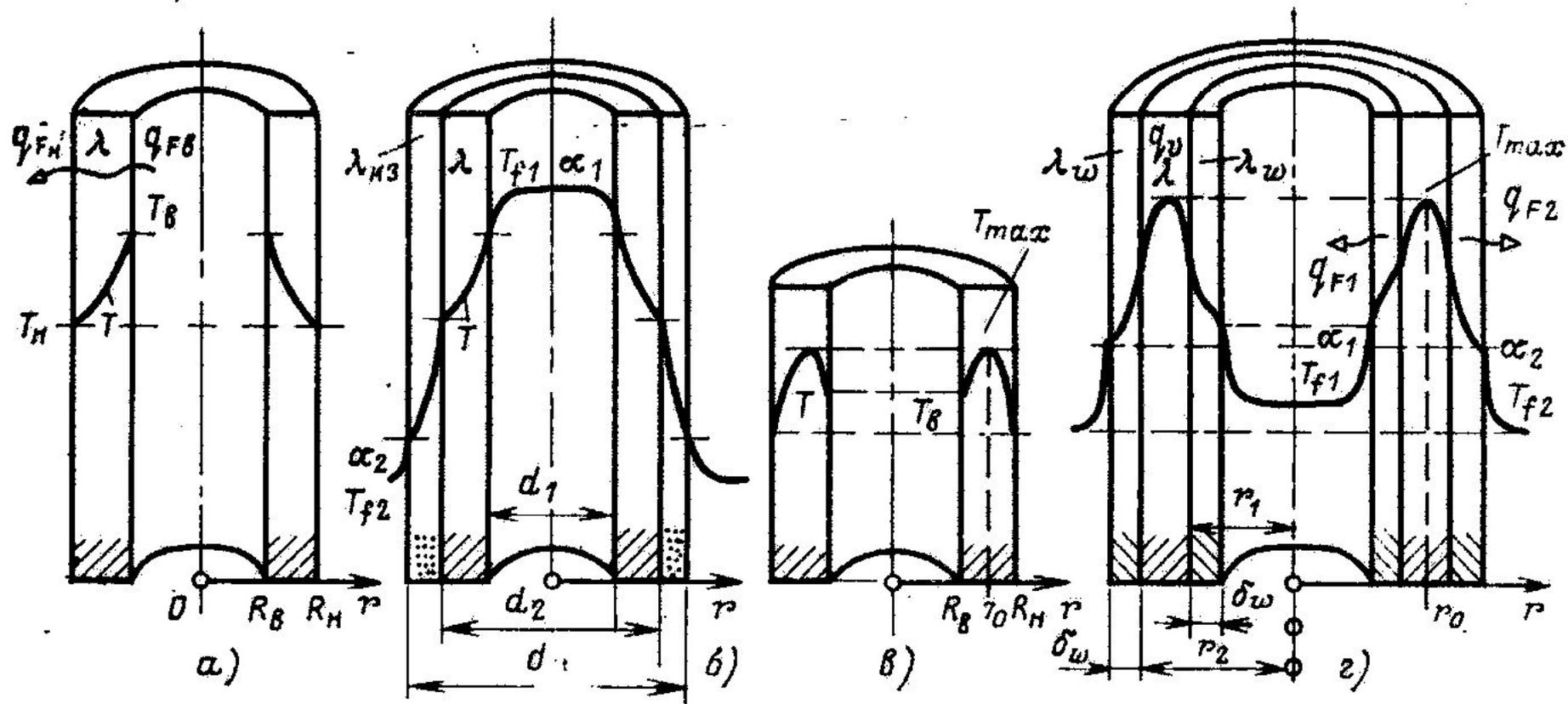


Рис. 9.27. Распределение температуры в трубе (а), в трубе с изоляцией (б), в тепловыделяющей трубе (в), в кольцевом твэле (г)

9. Определяем подогрев теплоносителя на участке l

$$\varepsilon_{\hat{a}\hat{u}\hat{o}} = \varepsilon_{\hat{a}\hat{o}} + \frac{1}{G} \sum_i Q_i$$

10. По энтальпии $\varepsilon_{\text{ВЫХ}}$ и давлению $P_{\text{ВЫХ}}$ на выходе с участка определяем $T_{\text{ВЫХ}}$

Расчёт закончен ?

НЕТ !

**Возврат на расчёт реактора
с новыми значениями температур
топлива и замедлителя
и плотностей теплоносителя**

1) $\hat{A}, \hat{a}, \hat{e}, \hat{n}, \hat{o}, \hat{a}, \hat{i}, \hat{u}, \hat{o}$
 $\hat{e}, \hat{i}, \hat{a}, \hat{e}, \hat{u}, \hat{i}, \hat{u}, \hat{o}, \hat{c}, \hat{a}, \hat{a}, \hat{i}, \hat{e}$
 $T(r,z), \rho(r,z)$ è i, δ .

2) $\hat{D}, \hat{a}, \hat{e}, \hat{o}, \hat{d}, \hat{i}, \hat{i}, \hat{u}, \hat{c}$
 $\hat{i}, \hat{a}, \hat{e}, \hat{d}, \hat{i}, \hat{e}, \hat{i}, \hat{n}, \hat{o}, \hat{a}, \hat{i}, \hat{o}, \hat{a}, \hat{c}, \hat{i}, \hat{a}, \hat{c}$
 $\hat{d}, \hat{a}, \hat{a}, \hat{e}, \hat{o}, \hat{i}, \hat{d}, \hat{a}, \hat{a}, \hat{c}, \hat{a}, \hat{e}, \hat{n}, \hat{e}, \hat{i}, \hat{n}, \hat{o}, \hat{e}$
 $\hat{i}, \hat{o}, \hat{e}, \hat{i}, \hat{a}, \hat{p}, \hat{u}, \hat{e}, \hat{o}, \hat{n}, \hat{y}, \hat{c}, \hat{a}, \hat{a}, \hat{i}, \hat{e}$
 \hat{O}, ρ è i, δ .

$\hat{O}(r,z)$
 $\rho(r,z)$
.....

3) $\hat{i}, \hat{a}, \hat{e}, \hat{o}, \hat{d}, \hat{i}, \hat{i}, \hat{i}, \hat{o}, \hat{e}, \hat{c}, \hat{e}, \hat{a}, \hat{n}$
 $\hat{e}, \hat{e}, \hat{e}, \hat{d}, \hat{a}, \hat{a}, \hat{e}, \hat{o}, \hat{i}, \hat{d}, \hat{a}$

4) $\hat{A}, \hat{a}, \hat{e}, \hat{o}, \hat{d}, \hat{i}, \hat{i}, \hat{u}, \hat{c}$
 $\hat{i}, \hat{a}, \hat{e}, \hat{d}, \hat{i}, \hat{e}, \hat{i}, \hat{n}, \hat{o}, \hat{a}, \hat{i}, \hat{o}, \hat{a}, \hat{c}, \hat{i}, \hat{a}, \hat{c}$
 $\hat{d}, \hat{a}, \hat{a}, \hat{e}, \hat{o}, \hat{i}, \hat{d}, \hat{a}, \hat{a}, \hat{c}, \hat{a}, \hat{e}, \hat{n}, \hat{e}, \hat{i}, \hat{n}, \hat{o}, \hat{e}$
 $\hat{i}, \hat{o}, \hat{e}, \hat{i}, \hat{a}, \hat{p}, \hat{u}, \hat{e}, \hat{o}, \hat{n}, \hat{y}, \hat{c}, \hat{a}, \hat{a}, \hat{i}, \hat{e}$
 \hat{O}, ρ è i, δ .

Что такое средняя
температура топлива ?

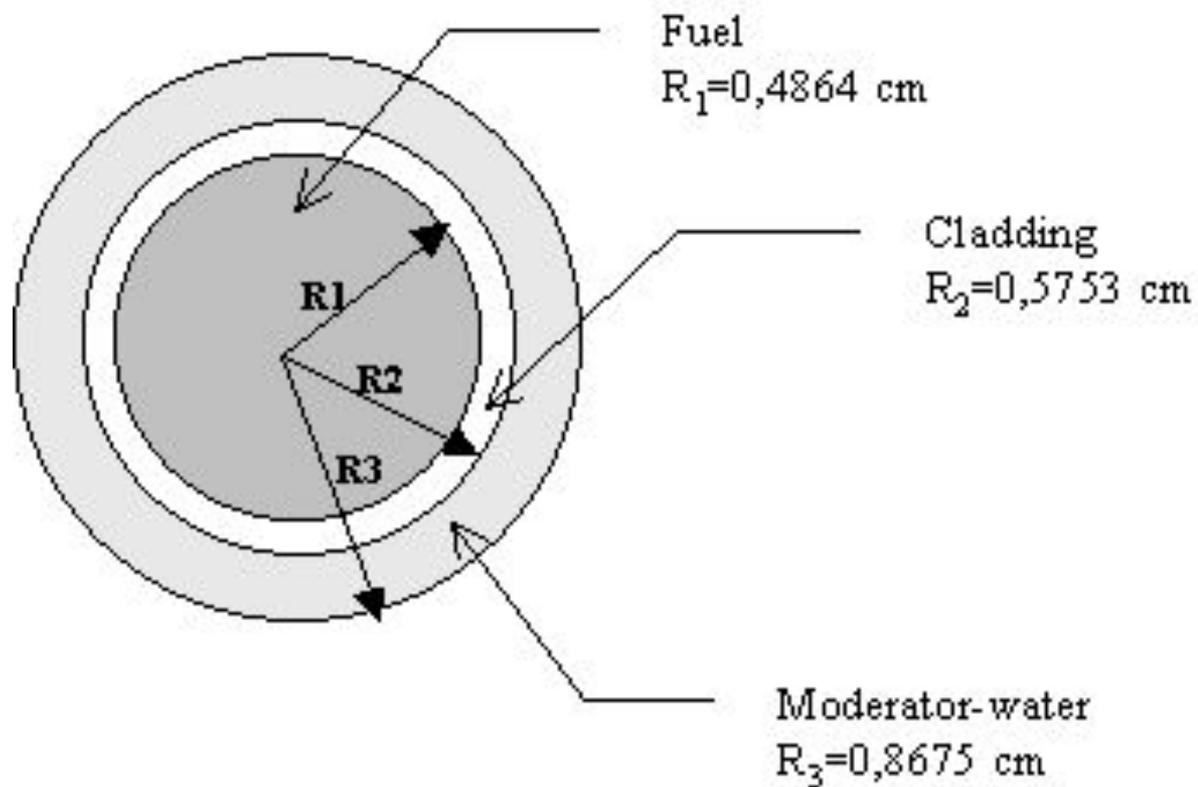
Распределение температуры по радиусу твэла

$$T(r) = T_0 + \frac{q_v \cdot r_0^2}{4 \cdot \lambda} \cdot \left[1 - \left(\frac{r}{r_0} \right)^2 \right]$$

Обычно принимают

$$\bar{T} = \frac{\int T(r) \cdot dV}{\int dV}$$

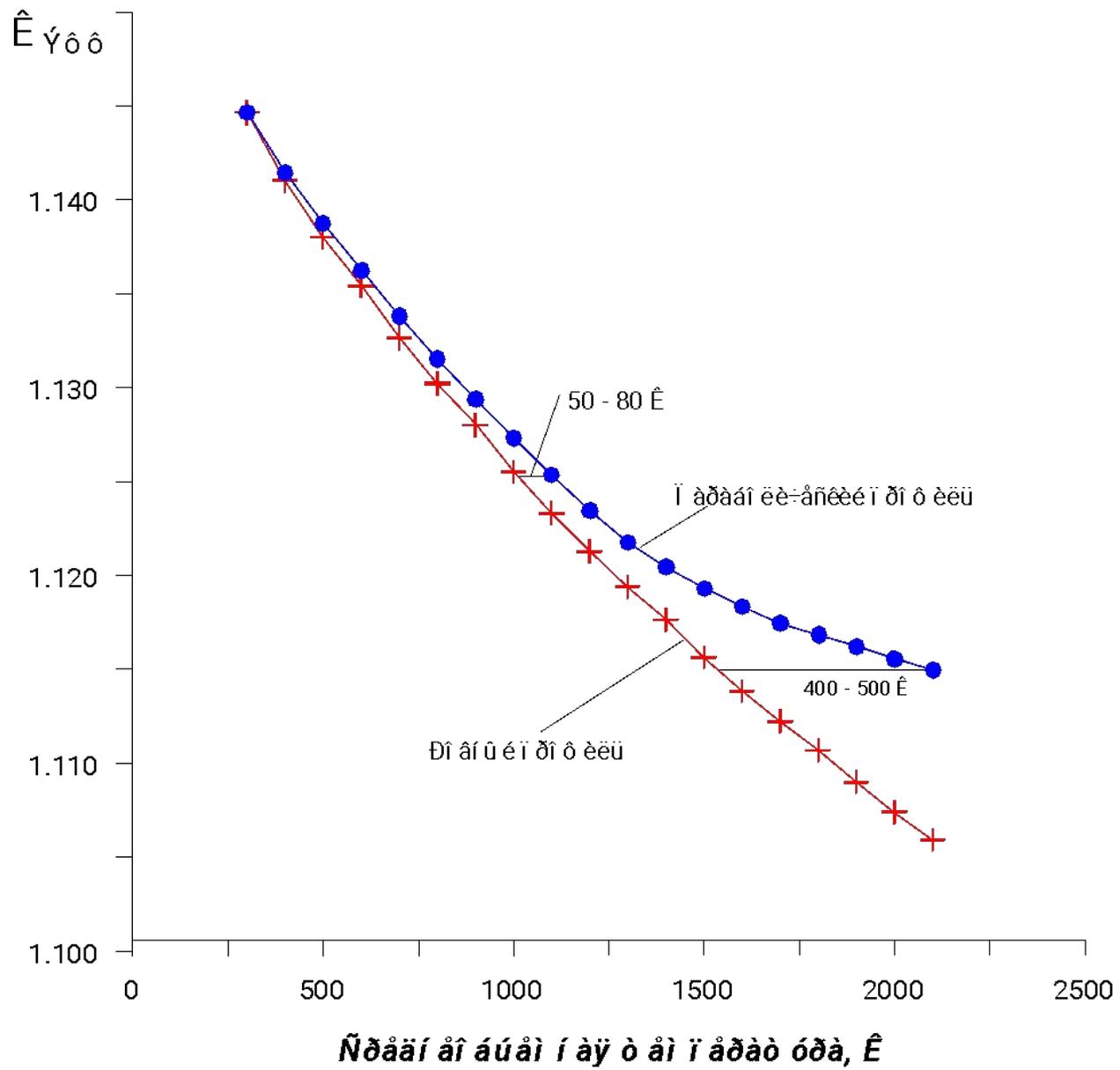
Трёхзонная ячейка



- 1) Во всех зонах топлива одинакова и равна средней.
- 2) Во всех зонах топлива одинакова и на 100К больше средней.
- 3) Параболическое распределение температуры такое, что на поверхности твэла (топливной зоны) температура 300К, а среднеобъемная равна средней для серии (1000К, 1500К или 2000К).
- 4) Параболическое распределение температуры такое, что на поверхности твэла (топливной зоны) температура 400К, а среднеобъемная больше средней для серии на 100К.
Это эквивалентно эквидистантному подъему профиля температур во всех зонах на 100К.
- 5) Параболическое распределение температуры такое, что на поверхности твэла (топливной зоны) температура 300К, а среднеобъемная больше средней для серии на 100К. (1100К, 1600К или 2100К).
Более крутая парабола.

Number of run	Name of run	Fuel-element-average temperature, K	K_{∞}	β , 1/K
1	1000-	1000	1.125537	
2	1100-	1100	1.123314	-1.758e-5
3	1000`	1000	1.127345	
4	1100II	1100	1.125085	-1.782e-5
5	1100~	1100	1.125379	-1.550e-5

1	1500-	1500	1.115616	
2	1600-	1600	1.113854	-1.418e-5
3	1500~	1500	1.119323	
4	1600II	1600	1.117851	-1.176e-5
5	1600~	1600	1.118378	-0.755e-5
1	2000-	2000	1.107417	
2	2100-	2100	1.105931	-1.213e-5
3	2000~	2000	1.115585	
4	2100II	2100	1.114404	-0.950e-5
5	2100~	2100	1.114978	-0.488e-5



Đèñ. 1

$$\mathbf{T}_{\hat{y} \hat{z}} = \frac{\int \mathbf{T}(\mathbf{r}) \cdot \varphi(\mathbf{r}) dV}{\int \varphi(\mathbf{r}) dV}$$

в качестве весовой функции $\varphi(\mathbf{r})$

использовать выражение

$$\varphi(\mathbf{r}) = 1 / \sqrt{\rho(\mathbf{r})}$$

Рассмотрим приведенную выше весовую функцию

$$\varphi(\mathbf{r}) = \int_{E_{\text{a}}}^{\infty} \sigma_a^{238}(\mathbf{r}, \mathbf{E}) \cdot \Phi(\mathbf{r}, \mathbf{E}) d\mathbf{E}$$

В этой формуле непосредственно от температуры зависит σ_a^{238} , поэтому более правильной будет следующая запись:

$$\varphi(\mathbf{r}, T(\mathbf{r})) = \int_{E_{\text{a}}}^{\infty} \sigma_a^{238}(\mathbf{E}, T(\mathbf{r})) \cdot \Phi(\mathbf{r}, \mathbf{E}) d\mathbf{E}$$

Известно, что сечение поглощения в окрестности выделенного резонанса описывается формулой [5]:

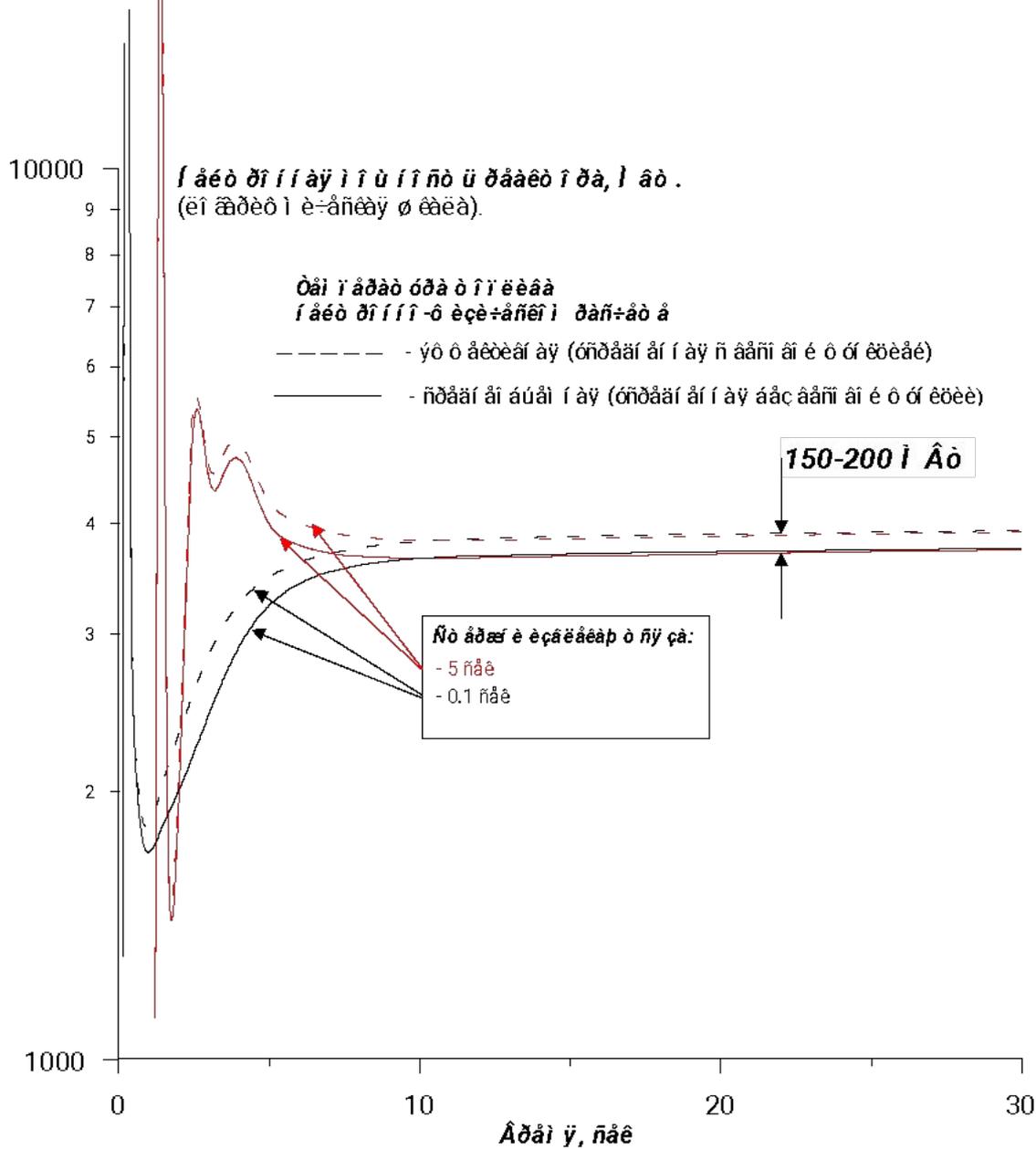
$$\sigma(\mathbf{E}, T) = \sigma_0 \cdot \frac{\Gamma\gamma}{\Gamma} \cdot \Psi(\Theta, x)$$

, где: σ_0 - сечение в пике резонанса E_0 , для $T=0$,
 $\Gamma\gamma$ и Γ - радиационная и полная полуширины,
 соответственно,

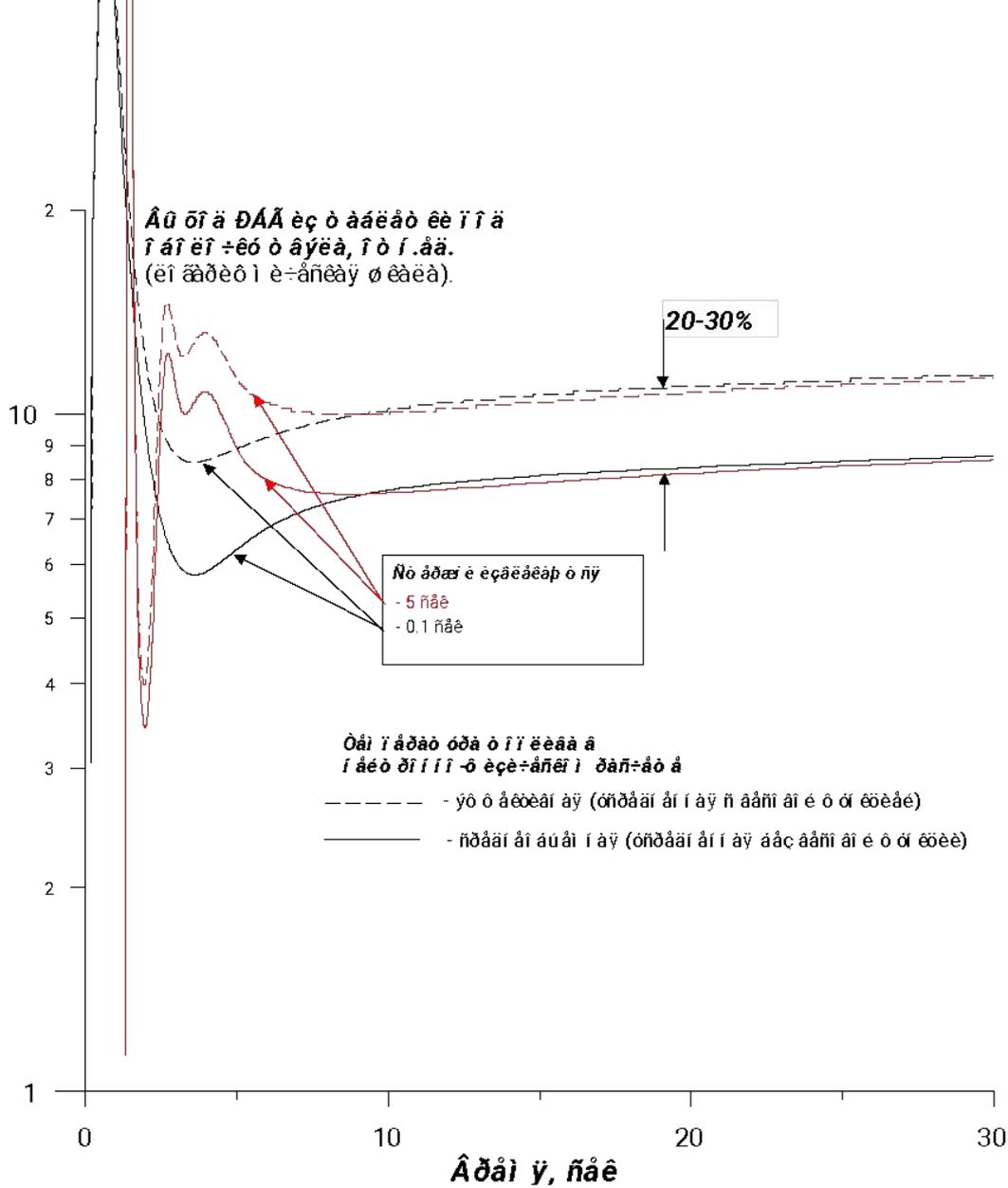
$$\Psi(\Theta, x) = \frac{\Theta}{2\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\exp[-\Theta^2 \cdot (x - y)^2 / 4]}{1 + y^2} dy \quad x = 2 \cdot (E - E_0) / \Gamma,$$

$$\Theta = \Gamma / \left(\frac{4 \cdot k \cdot E \cdot T}{A} \right)^{1/2}$$

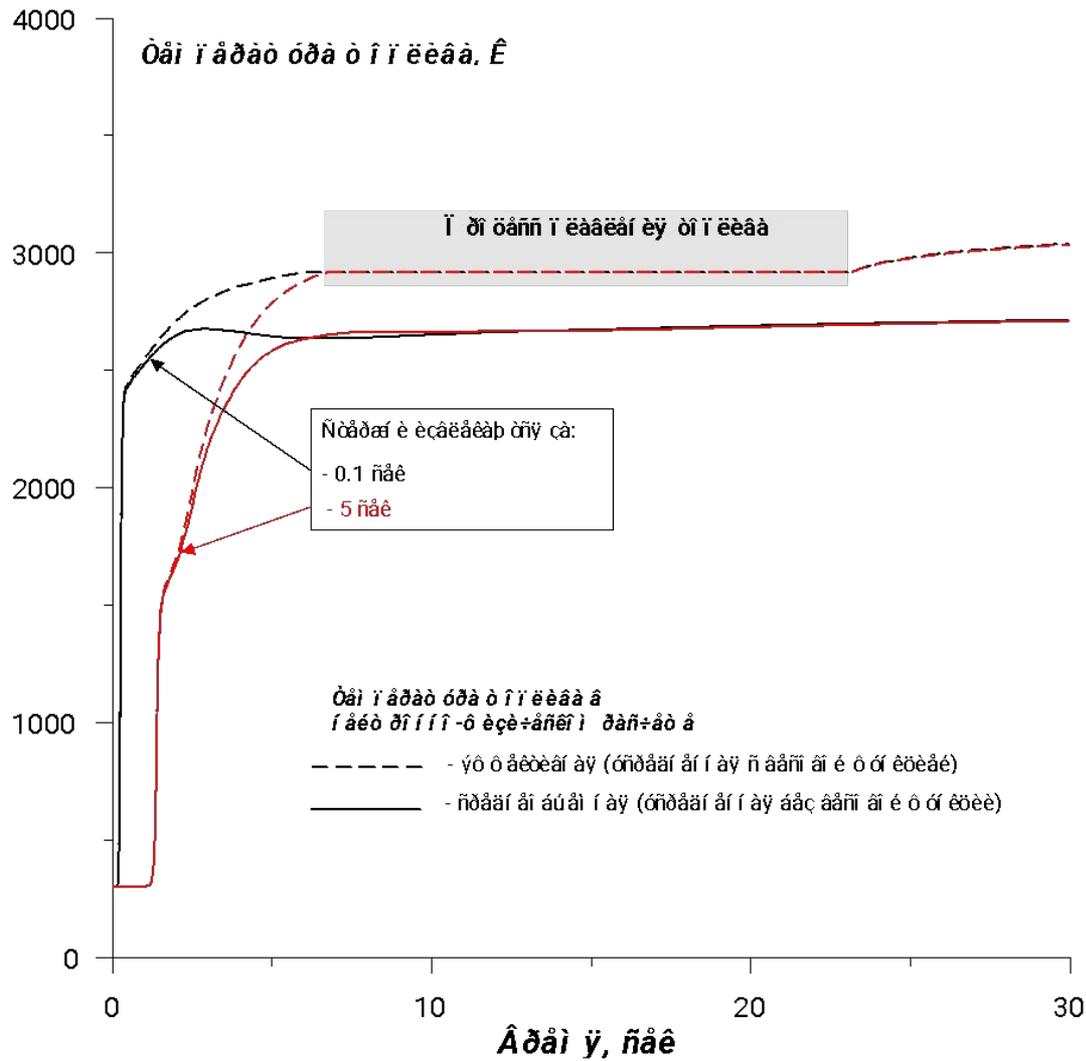
- отношение полной полуширины резонанса к Доплеровской ширине.



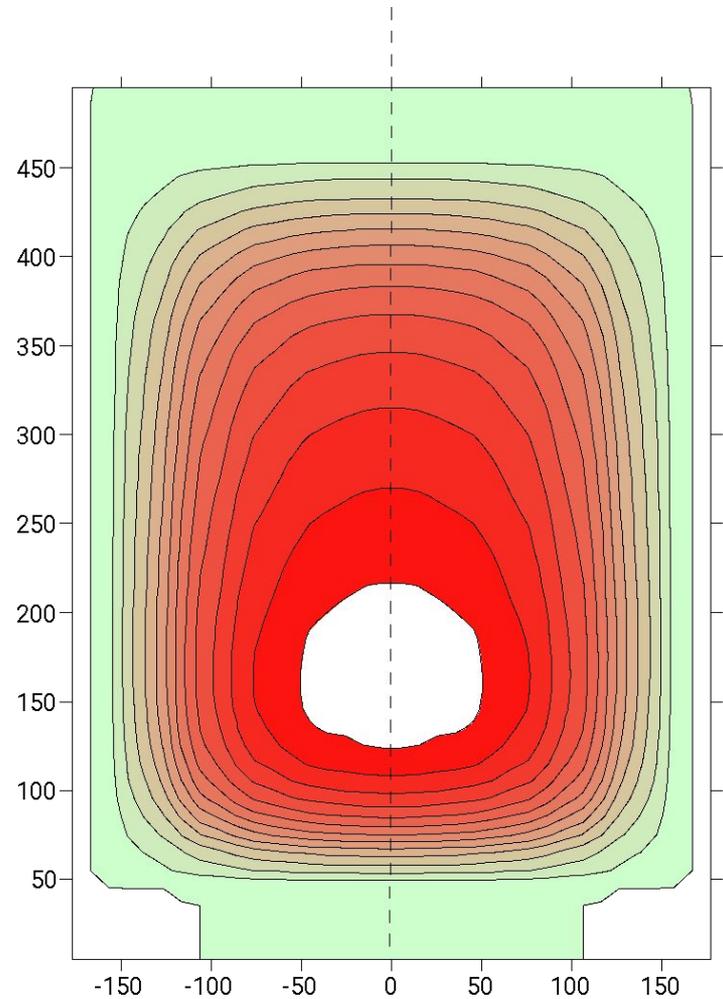
Ðèñ. 5.2. È çí áí áí èá á àáàðèèí ì ì ðí òáññá í áéòðí í í é ì ì ù í í ñòè ðáàèòí ðà í ðè ðàçèè÷í ù ò ñèí ðí ñòýò ááí áà í í èí æèòáèúí í é ðáàèòèáí í ñòè è í ðè ðàçí ù ò ñí í ñí ááò ì ì èó÷áí èý í áéòðí í í - ò èçè÷áñèí é òáí í áðàòòðú òí í èèáà.



Ðεñ. 5.3. Έçί άί άί èá á áááðééí ί ί ί ðί óáññά áú οί áá ðááéí áεðéáí ú ò áéáái ðί άί ú ò άçí á (ΔΑΆ) εç ðááéáðèè ί ί á ί άί εί ÷εó ðáγέá ί ðè ðáçèè-ί ú ò ηéί ðί ηγýò ááί áá ί ί éί áεðáéúí ί é ðááεðéáí ί ηðè è ί ðè ðáçí ú ò ηί ί ηί ááð ί ί έó-άί éγ ί áέðí ί ί ί -ò εçè-άñéί é óái - ί áðáòóðú οί ί èéáá.



Þèñ. 5.4. É çí áí áí èá á àáàðèéí í í ðí óáññá í àèñèì àèúí í é óái í áðáòóðú óí í èèáá á óái óðá óáýèà í áóí áýú ááñ ñý í á í ñè àèòèáí í é çí ú á í áéáñòè í àèñèì àèúí í áí ýí áðáí áú ááèáí èý í ðè ðáçèè-í ú ó ñèí ðí ñoyð ááí áà í í èí æèòáèúí í é ðááèòèáí í ñòè è í ðè ðáçí ú ó ñí í ñí ááò í í èó+áí èý í áéóðí í í -ó èçè+áñèí é óái í áðáòóðú óí í èèáá.



Đèñ. 5.5. Òàì ì àðàòóðí ì á ñí ñòí ÿí èá àèòèáí í é çí í ù é 24 ñàèóí àà àààðèéí ì ãí ì ðí òáññà. Áàèí á ì ÿòí ì á í èæí àé ì ì èí àèí á àèòèáí é çí í ù óéàçú àààò ì àéáñòù ààà á òáÿèàò àí ñòèáí óàà òàì ì àðàòóðà ì èààèáí èÿ U O₂.