

Тепловой и гидравлический расчёт расчёт ядерного реактора

В стационарном случае

Известны:

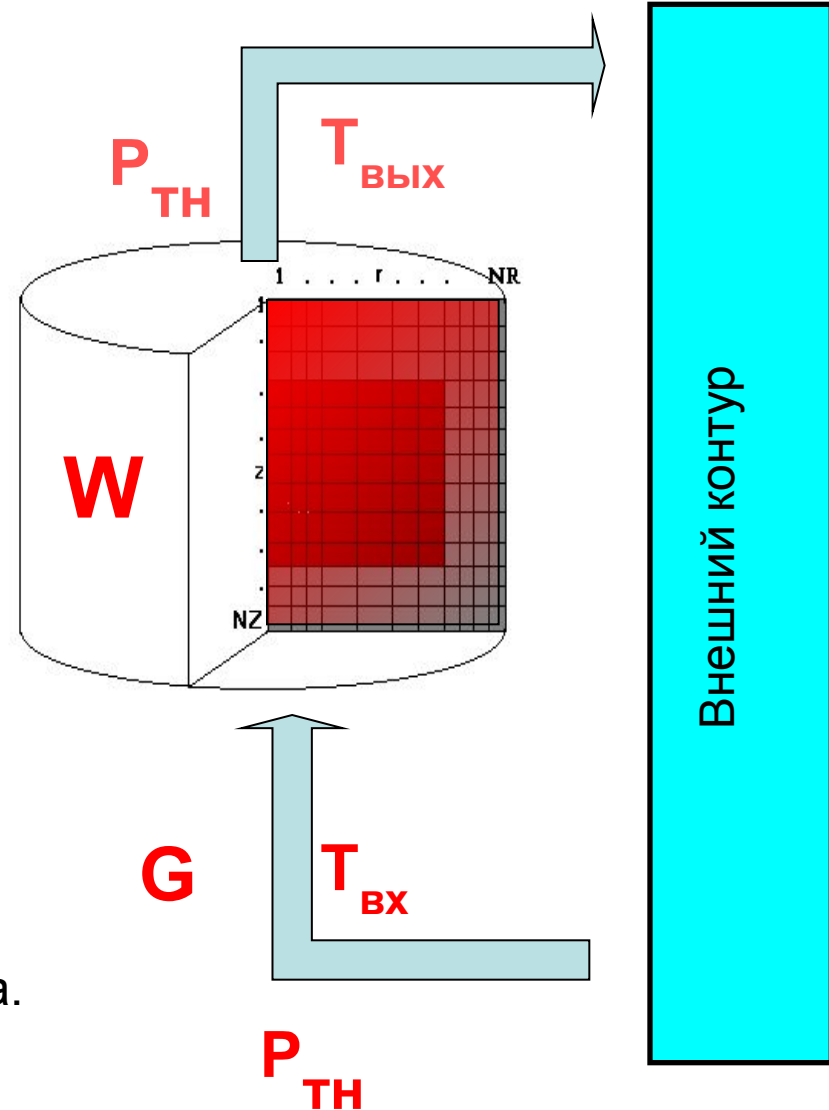
- W – тепловая мощность реактора, МВт
- G - массовый расход теплоносителя через реактор, кг/сек
- $T_{\text{ВХ}}$ – температура теплоносителя на входе в реактор.
- $P_{\text{ТН}}$ – давление теплоносителя

Кроме этого, известны:

- конструкция активной зоны,
- направление движения теплоносителя,
- фазовое состояние теплоносителя перед а.

3.,

- 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

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

а также в замедлителе и других конструкционных материалах

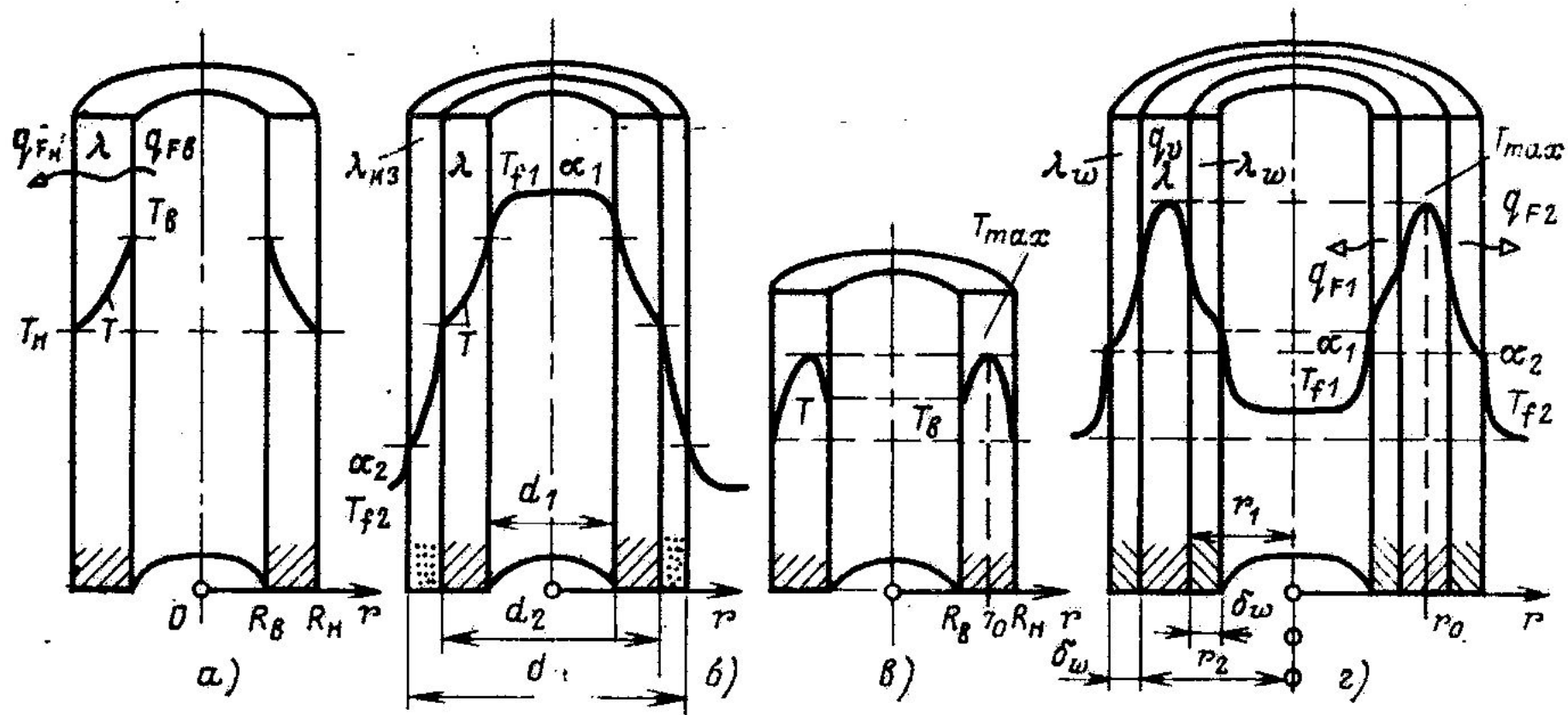


Рис. 9.27. Распределение температуры в трубе (а), в трубе с изоляцией (б), в тепловыделяющей трубе (в), в кольцевом твэле (г)

9. Определяем подогрев теплоносителя на участке l

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

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) $\hat{A}(\mathbf{r}, z)$ è $\hat{\rho}(\mathbf{r}, z)$ $\hat{T}(\mathbf{r}, z)$ è $\hat{\rho}(\mathbf{r}, z)$ è $\hat{\rho}(\mathbf{r}, z)$.



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

2) $\hat{A}(\mathbf{r}, z)$ è $\hat{\rho}(\mathbf{r}, z)$ $\hat{T}(\mathbf{r}, z)$ è $\hat{\rho}(\mathbf{r}, z)$ è $\hat{\rho}(\mathbf{r}, z)$.



3) $\hat{A}(\mathbf{r}, z)$ è $\hat{\rho}(\mathbf{r}, z)$ $\hat{T}(\mathbf{r}, z)$ è $\hat{\rho}(\mathbf{r}, z)$ è $\hat{\rho}(\mathbf{r}, z)$.



Что такое средняя
температура топлива ?

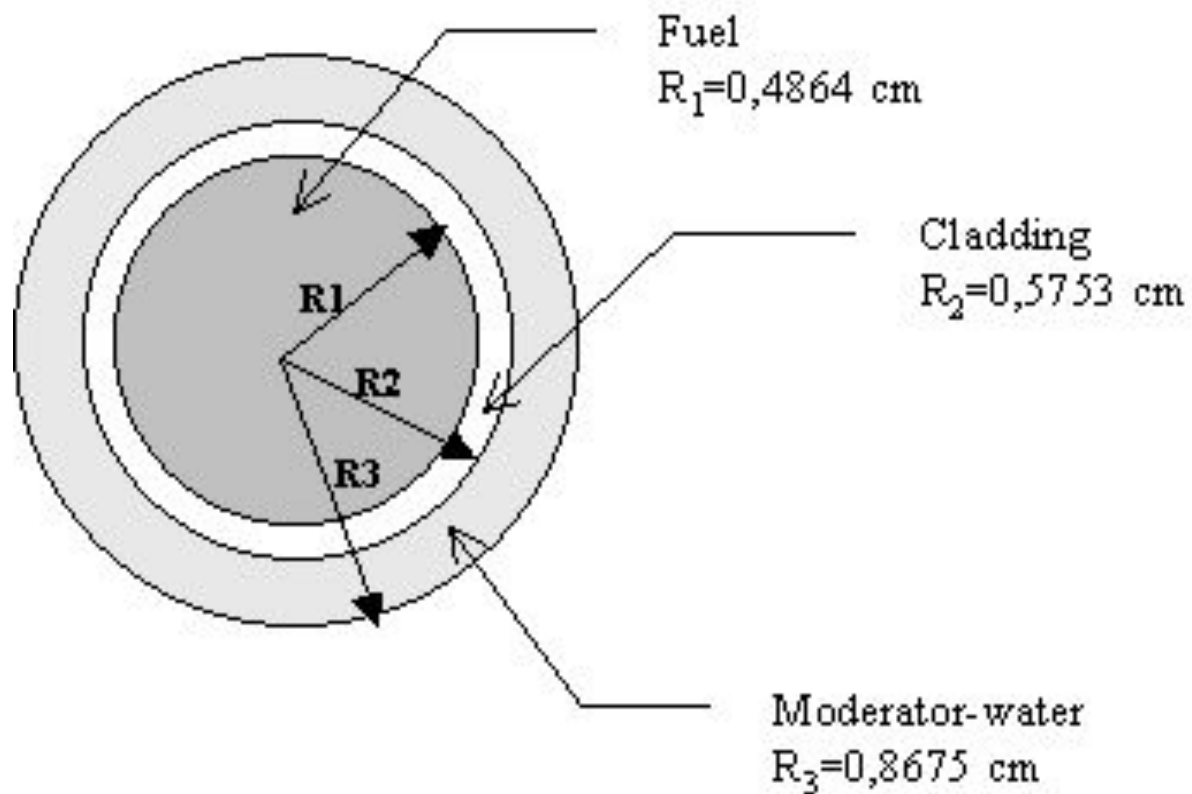
Распределение температуры по радиусу твэла

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

Обычно принимают

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

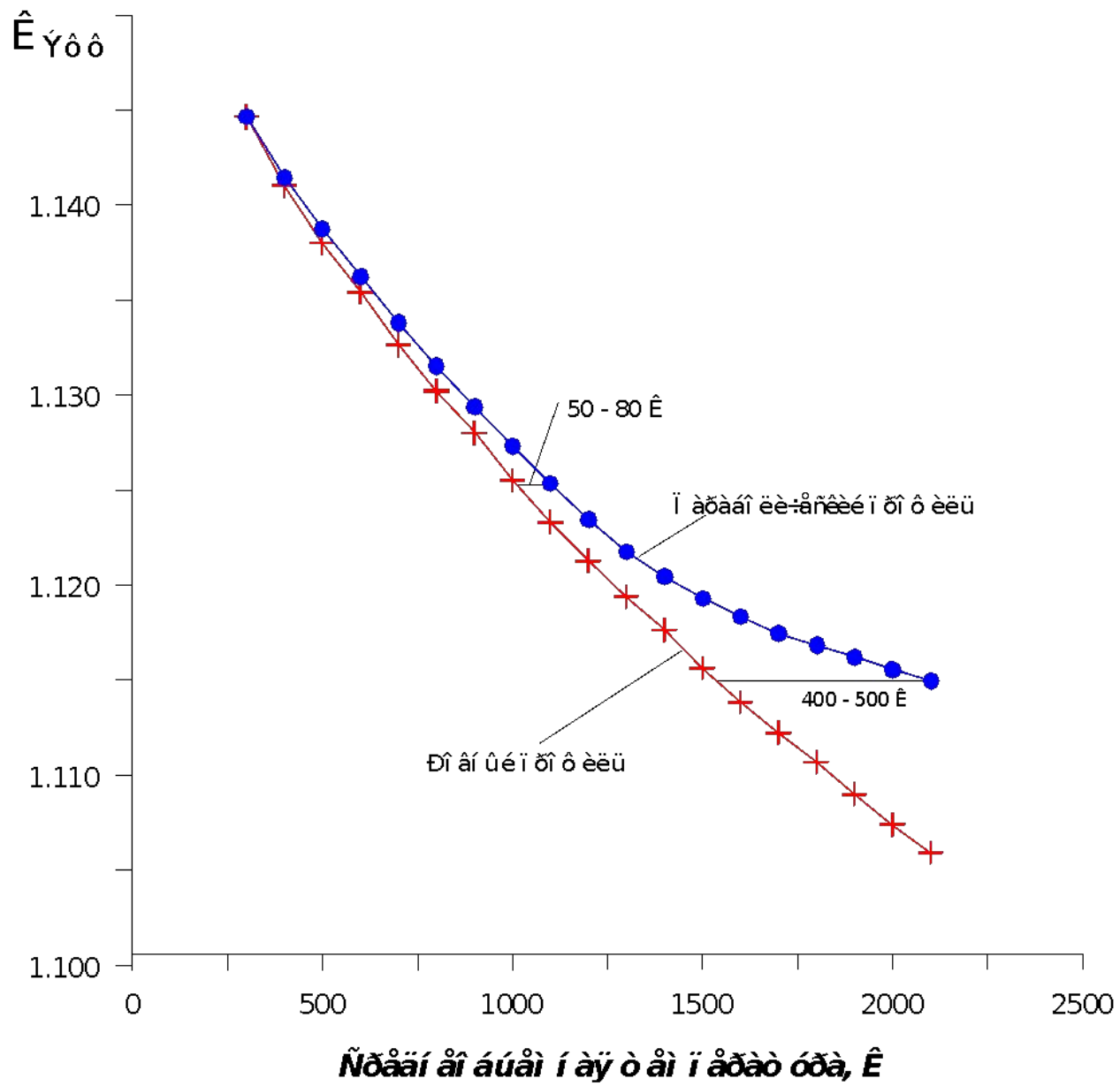
Трёхзонная ячейка



- 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]:

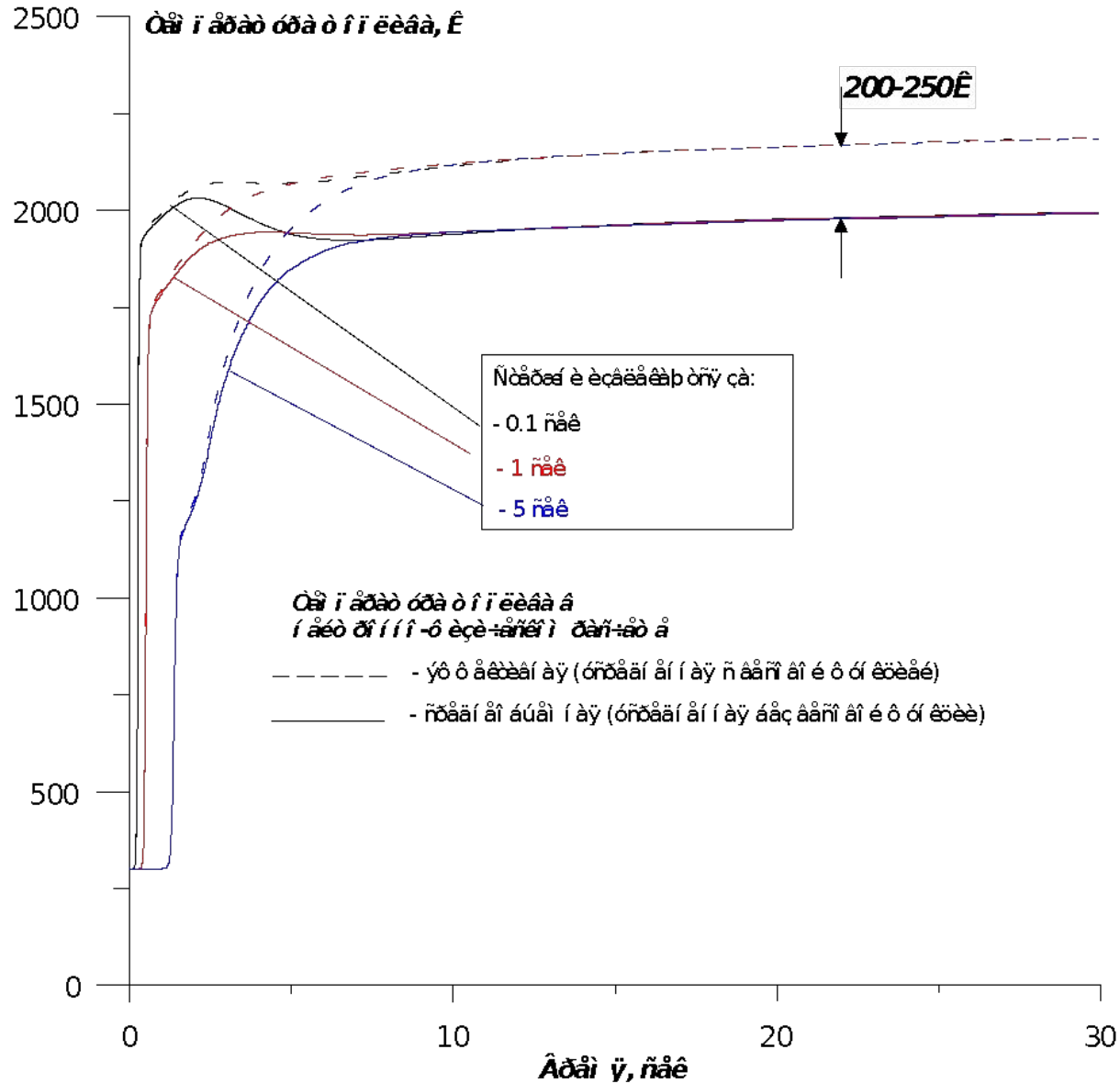
$$\sigma(\mathbf{E}, T) = \sigma_0 \cdot \frac{\Gamma\gamma}{\Gamma} \cdot \Psi(\Theta, x)$$

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

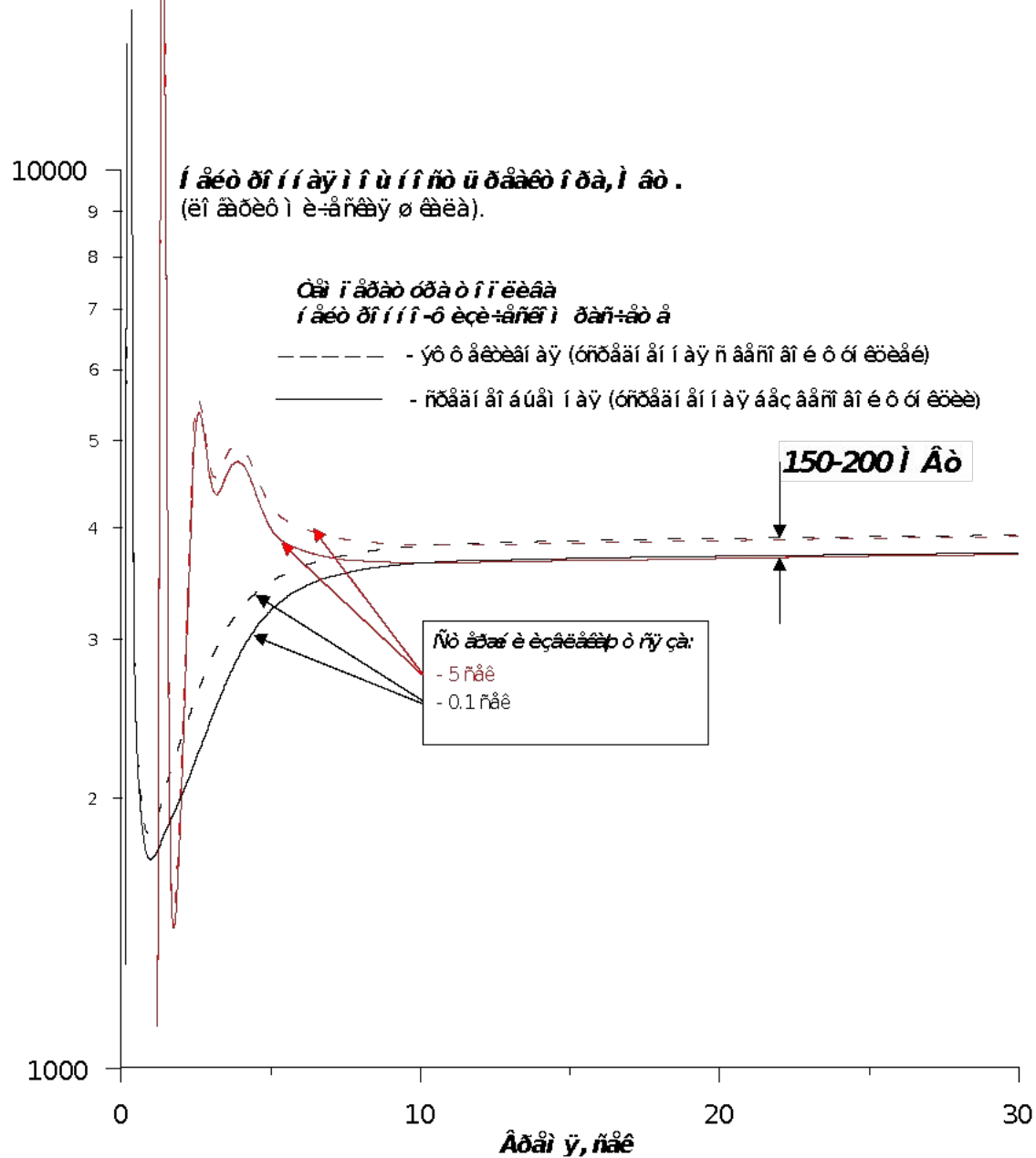
$$\Psi(\Theta, x) = \frac{\Theta}{2\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\exp[-\Theta^2 \cdot (x - y)^2 / 4]}{1 + y^2} dy \quad x = 2 \cdot (E - E_0) / \Gamma,$$

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

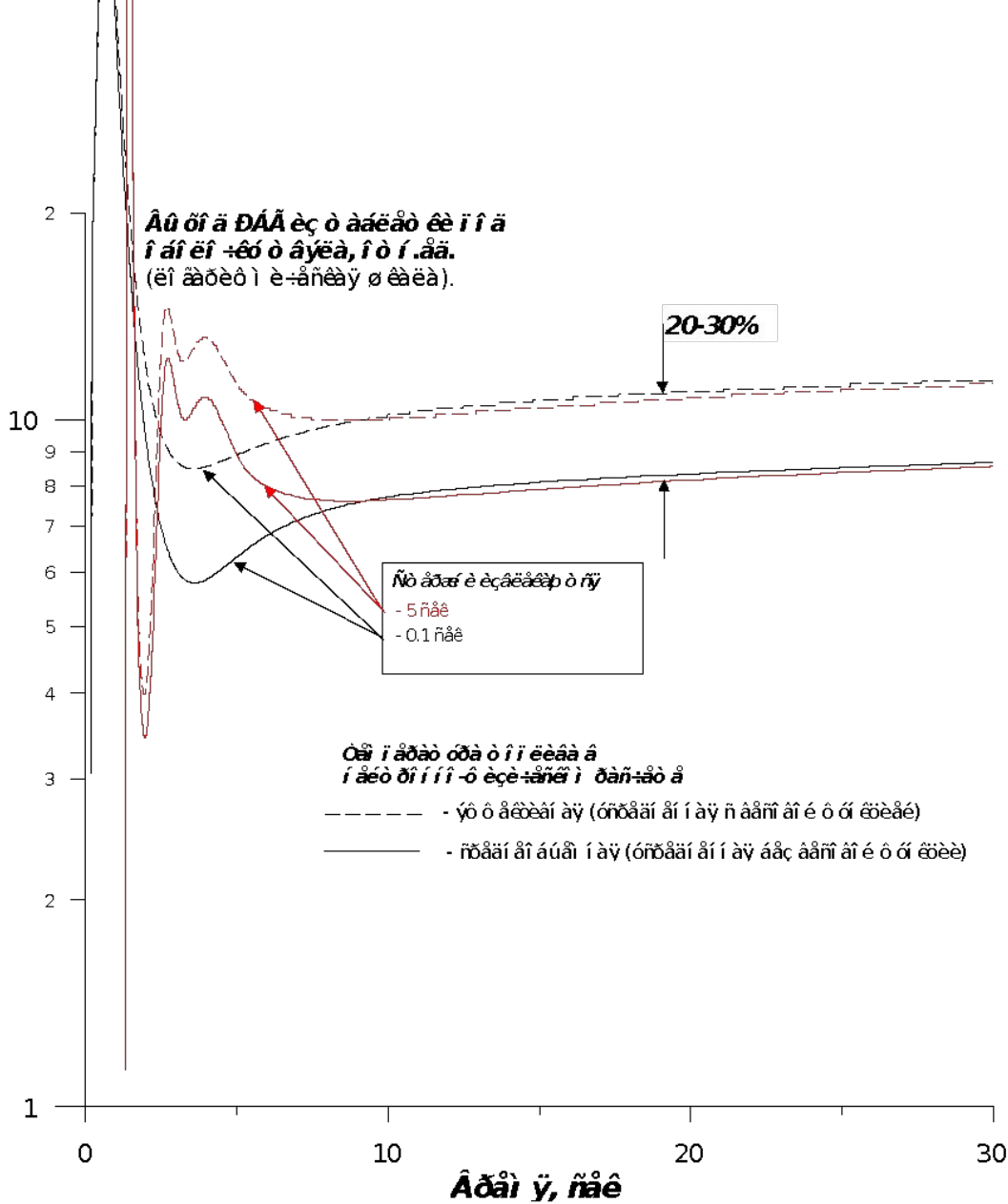
- отношение полной полуширины резонанса к Доплеровской ширине.



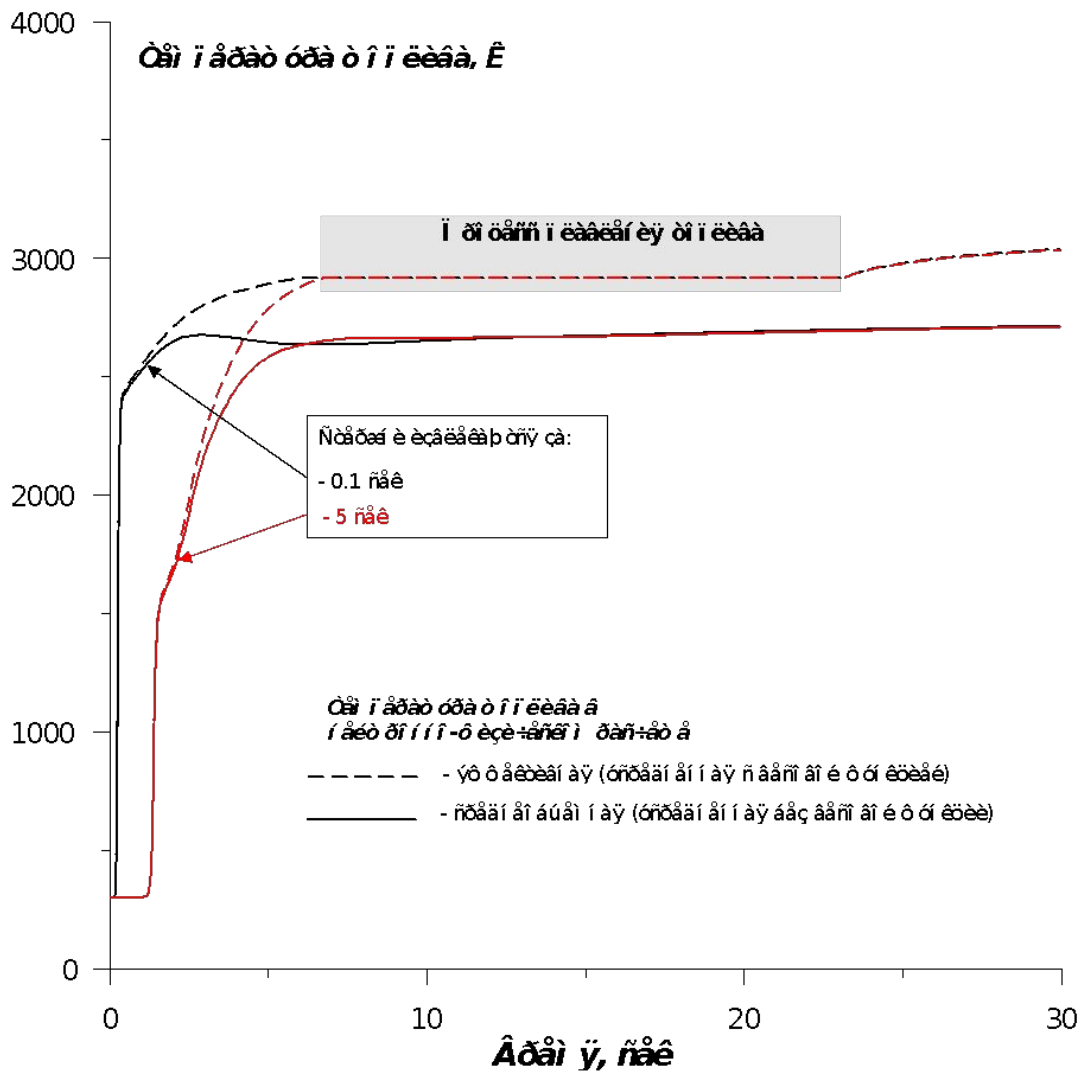
Đēñ. 5.1. Ē çī āī āī ēā ā āāāðēēíīī ī ðī òāññā ì āēñēì æēūí í ē òāī ī āðāòððū òī ī ēēāā ā òāī òðā òāŷēā í āōī āŷù āāī ñŷ í ā îñē āēðēāī í ē çī í ú ā î áēāñðē ì āēñēì æēūí āī ŷí āðāī āú āāēāī ēŷ ī ðē ðāçēē-í ú ò ñēī ðī ñòŷò āāī āā ī ī ēī æēðāēūí í ē ðāāēðēāī ī ñòē ē ī ðē ðāçí ú ò ñī îñī āāò ī ī ēó-āī ēŷ í āēððī í í ī -ò ēçē -āñēī ē òāī ī āðāòððū òī ī ēēāā.



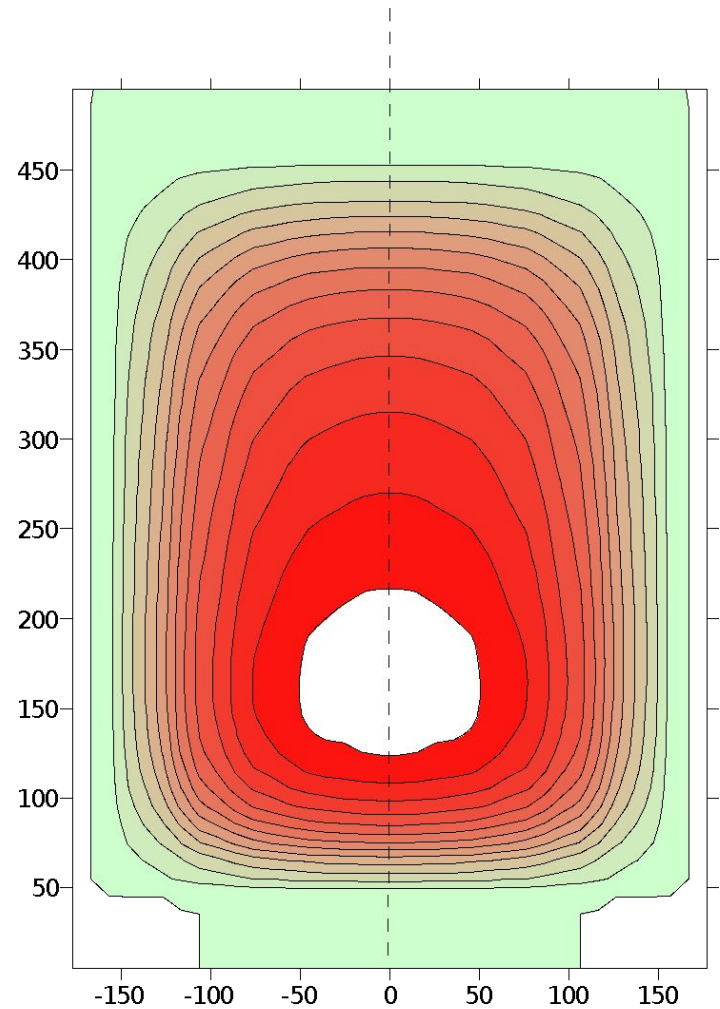
Đèn. 5.2. È çì áí áí èã á àããòèéí ì ì ï ðí òãññã í áéòõí í í é ì ì ù ì ì ñòè ðããéõí ðã ì ðè ðãçèè-í ù ò ñéí ðí ñòŷõ áãí àà ì ì èí æèòãéúí ì é ðããéòèáí ì ñòè è ì ðè ðãçí ù ò ñí ì ñí áãò ì ì éó-áí èŷ í áéòõí í í -ò èçè-ãñéí é ðãí í áõàòóóú ðí í èèãà.



Ðè.ñ. 5.3. È çì áí áí èá á àààðèéííì ì õì óáññá áù õí àà ðàáèí àèðèáí ù ò áéàá ðí áí ù ò ãàçì á (ÐÃÃ) èç òàáéãòèè ì í ä í áí èí -éó òáÿèà ì ðè ðàçèè-í ù ò ñèí ðí ñöÿ ãáí àà ì ì èí æèðáéúí ì é ðáàèðèáí í ñèè è ì ðè ðàçì ù ò ñí ì ñí áàð ì í éó-áí èÿ í áéòðí í í í -ò èçè-áñèí é çàì - ì ãðàòóðú õí í èéàà.



ðèñ. 5.4. È çí áí áí èá á ááàðééí í ðí óáññá í àèñèì àéúí í é
 óái í áðáòóóú ðí í ééáá á óái óáá óáýéà í áóí áýú ááí ñý í à í ñè
 àéòéáí í é çí ú á í áéáñðè í àèñèì àéúí í áí ýí áðáí áú ááéáí éý
 í ðè ðáçéè-í ú ó ñèí ðí ñòýó ááí áà í í éí æèòéúí í é óáàèòéáí í ñòè
 è í ðè ðáç ú ó ñí ñí ááð í í éó-áí éý í áéòóí í í -ó èçè-áñéí é
 óái í áðáòóóú ðí í ééáá.



Đèñ. 5.5. Òàì ì ãðàòóóí îá ñí ñòí ýí èá àèðèáí í é çí ú è 24 ñàèóí ää ääðèéí îáì ì ðí òáññà. Áàèí á ì ýóí î á í èáí áé ì îéí àèí á àèðèáí é çí ú óéàçú ääòò î áéàñòü ääá á òáýèàò äí ñòèáí óàà òàì ì ãðàòóòà ì èààèáí èý UO_2 .