

Міністерство освіти та науки України
Національний університет "Одеська політехніка"
Інститут енергетики
Кафедра атомних електростанцій

Методичні вказівки
для виконання розрахунково-графічної роботи
з дисципліни «Вступ до фаху» для здобувачів першого
(бакалаврського) рівня вищої освіти по спеціальності – 143 Атомна енергетика

Тема: Розрахунок водо-водяного теплообмінника

Одеса 2023

Міністерство освіти та науки України
Національний університет "Одеська політехніка"
Інститут енергетики
Кафедра атомних електростанцій

Методичні вказівки
для виконання розрахунково-графічної роботи
з дисципліни «Вступ до фаху» для здобувачів першого
(бакалаврського) рівня вищої освіти по спеціальності – 143 Атомна енергетика

Тема: Розрахунок водо-водяного теплообмінника

ЗАТВЕРДЖЕНО
на засіданні кафедри
атомних електростанцій
Протокол №8 від 29.12.2022

Узгоджено з НМВ
21.03.2023 р.
№ 3954-РС-2023

Методичні вказівки для виконання розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Вступ до фаху» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності – 143Атомна енергетика за освітньою програмою – Атомна енергетика / Укл: Кравченко В.П., Висоцький Ю.І. Одеса, Національний університет «Одеська політехніка», 2023- 11 с.

Укладачі: Кравченко В.П. д.т.н., проф.,
Висоцький Ю.І. к.т.н., доц..

Методичні вказівки розроблені з метою знайомства майбутніх фахівців з атомної енергетики з особливостями теплообмінного фізичного процесу в відповідності з навчальною програмою спеціальності та призначенні для набуття загальних та спеціальних компетентностей здобувачів, формування необхідних знань в процесі прийняття рішень при використанні теплообмінного обладнання, отриманих здобувачами під час теоретичних та практичних занять. Методичні вказівки розроблені для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм навчання по спеціальності – 143Атомна енергетика.

Розрахунково – графічна робота з дисципліни «Вступ до фаху» є індивідуальним завданням, яке має на меті не лише поглиблення, узагальнення і закріплення знань здобувачів з навчальної дисципліни, а й застосування їх при вирішенні конкретного завдання і вироблення вміння самостійно працювати з навчальною літературою, використовуючи сучасні інформаційні засоби та удосконалення вмінь по використанню математичного процесора Mathcad для розв’язку технічних задач.

Постановка задачі

Визначити кінцеві температури теплоносіїв та оптимальні характеристики (максимальний ККД) водо-водяного теплообмінника типу «труба в трубі» за індивідуальним завданням, наведеним у таблиці 1.

Варіанти завдань до розрахунково-графічної роботи

Таблиця 1

№ варіанта				t1н	t2н	W ₁	W ₂	dv/dh	D ₀	L	n
d ₁ =d _в ; d ₂ =D ₀ -d _н		d ₁ =D ₀ -d _н ; d ₂ =d _в									
Прямо-ток	Проти-воток	Прямо-ток	Проти-воток	°С	°С	м/с	м/с	мм/мм	мм	м	Сек-цій
1	6	11	16	140	20	1,0	3,0	20 / 22	30	3	5
2	7	12	17	130	30	1,5	2,5	22 / 25	35	4	6
3	8	13	18	120	40	2,0	2,0	24 / 25	35	5	7
4	9	14	19	110	30	2,5	1,5	21 / 23	33	6	8
5	10	15	20	100	20	3,0	1,0	25 / 27	40	7	9

ККД теплообмінника є функцією багатьох параметрів

$$\eta_{ex} = F(d_{в}, t_{1н}, t_{1к}, n, L, W_1, W_2) .$$

Виконати розрахунок ККД залежно від зміни одного параметра для визначення максимального ККД. Індивідуальну залежність для пошуку оптимальної характеристики теплообмінника слід отримати у викладача.

Математичний опис задачі

Теплообмінником називається пристрій (апарат), у якому здійснюється процес передачі теплоти від одного теплоносія до іншого. Такі пристрої численні та за своїм технологічним призначенням, конструктивним оформленням різноманітні. Спеціальні назви теплообмінних пристроїв визначаються їх призначенням, наприклад парогенератори, печі, водопідігрівачі, конденсатори, деаератори і т.д. Однак незважаючи на велику різноманітність теплообмінних пристроїв за видом, пристроєм, принципом дії та робочим тілом, призначення у них одне й те саме, це – передача теплоти від

однієї, гарячої, рідини до іншої, холодної. Тому й основні тези теплового розрахунку їх залишаються загальними (Рис. 1).

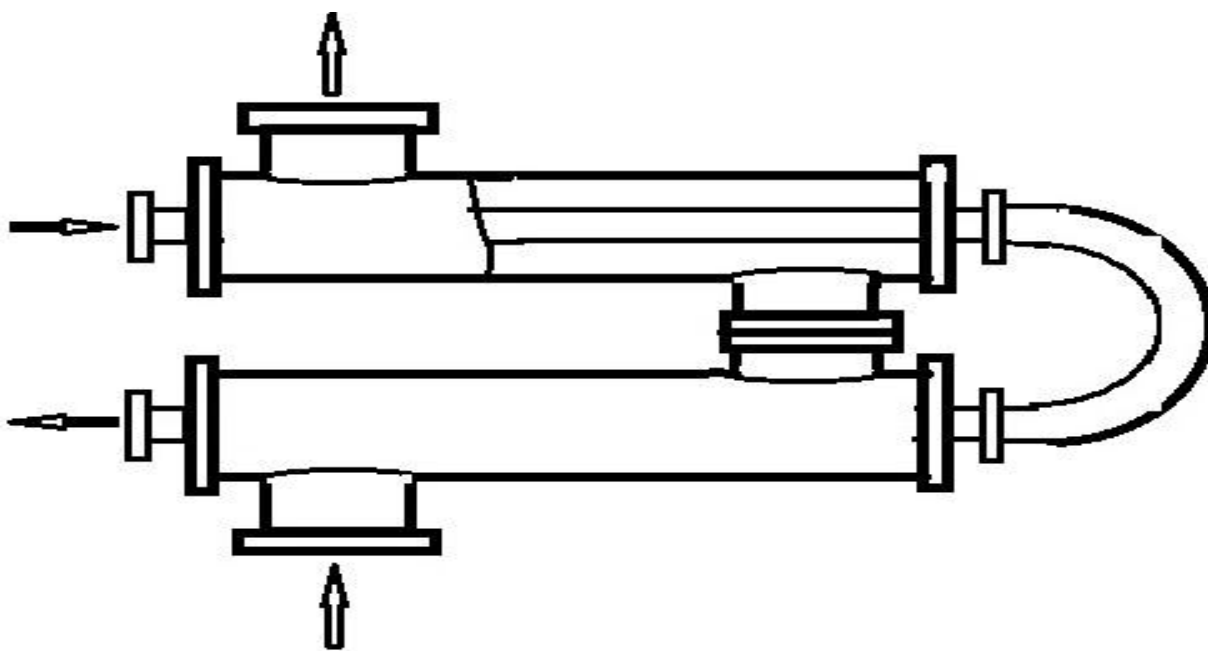


Рис.1 Схема двосекційного теплообмінного пристрою

Тепловий розрахунок теплового апарату може бути конструкторським та перевірочним. *Метою конструкторського розрахунку* є визначення оптимальних параметрів теплообміну. *Метою перевірочного розрахунку* є визначення режиму роботи пристрою, що встановився, і визначення кінцевих температур теплоносіїв. Ці два розрахунки потрібно виконати за індивідуальним завданням у цій розрахунково-графічній роботі.

Характер зміни температури робочих рідин вздовж поверхні нагріву залежить від схеми їх руху і співвідношення величин масової витрати m_1 , що гріє, і m_2 , що нагрівається, теплоносіїв. Якщо в теплообмінному пристрої гаряча та холодна рідини протікають паралельно і в одному напрямку, то така схема руху називається прямотечією (рис. 2а). Якщо рідини протікають паралельно, але у прямо протилежному напрямку, - протитечією (рис. 2б).

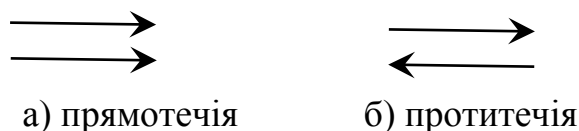
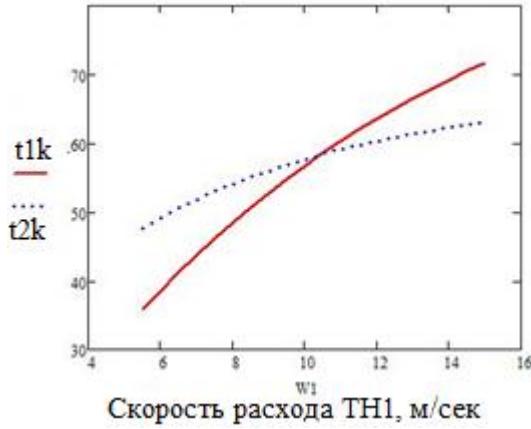


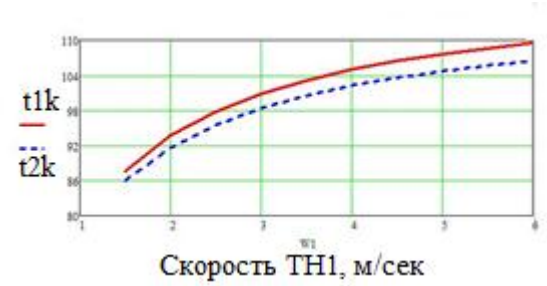
Рис 2. Основні схеми руху робочих рідин у теплообмінниках

Залежно від того, здійснюється прямотечія або протитечія і масові витрати m_1 більше або менше m_2 виходять різні характерні пари кривих зміни кінцевих температур, представлені на рис. 3. Тут по осях абсцис відкладено змінювані параметри теплообмінника, а по осях ординат – кінцева температура робочих рідин (теплоносіїв).

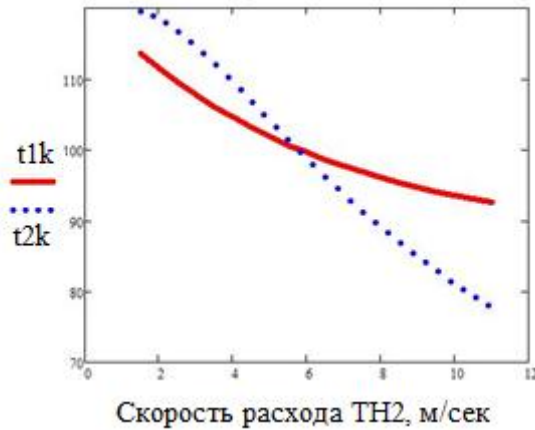
Температури ТН при протитечії



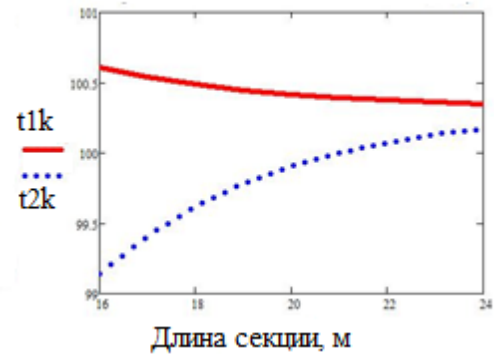
Температури ТН при прямотечії



Температури ТН при протитечії



Температури ТН при прямотечії

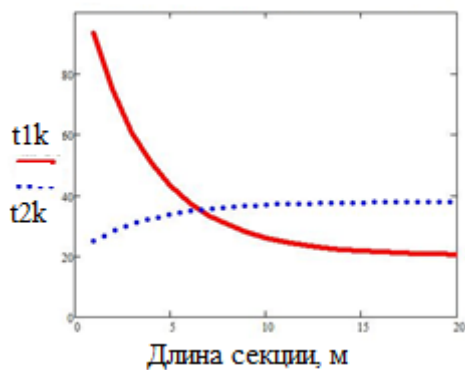


а) протитечія

б) прямотечія

Рис 3. Характер зміни температур теплоносіїв

Відповідно до рівнянь (див. далі) на графіках більша зміна температури $t_{1н} - t_{1к}$ виходить для тієї рідини, у якої масова витрата менша. У процесі виконання розрахункової роботи слід перевірити вплив масових витрат на ефективність теплообмінника. З графіків видно, що при прямо течії кінцева температура холодної рідини $t_{2к}$ завжди нижче кінцевої температури гарячої рідини $t_{1к}$.



При протитечії кінцева температура холодної рідини $t_{2к}$ може бути вищою за кінцеву температуру гарячої $t_{1к}$. Отже, при одній і тій же початковій температурі холодної рідини при протитечії її можна нагріти до більш високої температури, ніж прямотечії, рис 4 .

Рис 4. Співвідношення кінцевих

температур при протитечії

Основні положення перевірного теплового розрахунку
Кінцева температура первинного теплоносія $t_{1к}$ при прототечії

$$t_{1к} = t_{1н} - (t_{1н} - t_{2н}) \frac{1 - e^{-kA(\frac{1}{m_1 c_{1f}} + \frac{1}{m_2 c_2})}}{1 + \frac{m_1 c_{1f}}{m_2 c_2}}, \quad (1)$$

де $t_{1н}$ і $t_{1к}$ - початкова і кінцева температури теплоносія, що гріє, °С;

$t_{2к}$ - кінцева температура теплоносія, що нагрівається, °С;

m_1 та m_2 - масова витрата теплоносія, що гріє і нагрівається, кг/с;

$C_{1г}$ та C_2 - питома теплоємність теплоносія, що гріє і нагрівається, Дж/(кг·с), залежить від температури ТН, чисельне значення див. Додаток;

k - середній коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²·К), розраховується див. (4);

A - площа поверхні теплообміну теплообмінника, м²;

f - коефіцієнт, що враховує теплообмін зовнішньої поверхні теплообмінника з навколишнім середовищем, $f = 0,97$.

Кінцева температура первинного теплоносія $t_{1к}$ при протитечії

$$t_{1к} = t_{1н} - (t_{1н} - t_{2н}) \frac{1 - e^{-kA(\frac{1}{m_1 c_{1f}} + \frac{1}{m_2 c_2})}}{1 - \frac{m_1 c_{1f}}{m_2 c_2} \cdot e^{-kA(\frac{1}{m_1 c_{1f}} - \frac{1}{m_2 c_2})}}. \quad (2)$$

Кінцева температура вторинного теплоносія $t_{2к}$

$$t_{2к} = t_{2н} + (t_{1н} - t_{1к}) \frac{m_1 c_{1f}}{m_2 c_2}. \quad (3)$$

Коефіцієнт теплопередачі можна сформулювати як кількість теплоти, що віддається в одиницю часу одиницю поверхні при різниці температур в один градус. Коефіцієнт теплопередачі обчислюється за формулою

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (4)$$

де α_1 і α_2 - коефіцієнти тепловіддачі від гріючого теплоносія до стінки труби і від неї до теплоносія, що нагрівається, Вт/(м²·К);

$\delta_{ст}$ - товщина стінки труби, м; $\delta_{ст} = d_n - d_v$,

d_n та d_v - зовнішній та внутрішній діаметри внутрішньої труби теплообмінника, м;

$\lambda_{ст}$ - теплопровідність стінки труби, Вт/(м·К).

Коефіцієнт тепловіддачі α_i ($i = 1, 2$) при турбулентному режимі перебігу рідини

$$\alpha_i = 0,021 \cdot \frac{\lambda_i}{d_i} Re_i^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \cdot \left(\frac{Pr_i}{Pr_{ст}}\right)^{0,25}, \quad (5)$$

де λ_i - теплопровідність води, Вт/(м·К); λ_i залежить від температури води, значення наведені у теплофізичних коефіцієнтах води у Додатку.

d_i – діаметр (для кільцевого перерізу $d_i = D_0 - d_n$, а внутрішньої труби $d_i = d_в$), м;

D_0 – внутрішній діаметр кожуха, м;

Re_i – критерій Рейнольдса, $Re_i = W_i \cdot d_i / \nu_i$;

ν_i – коефіцієнт кінематичної в'язкості води, м²/с, залежить від температури, чисельне значення див. Додаток;

$Pr_i, Pr_{ст}$ – критерій фізичної подоби (Прандтля) води, при середній температурі води та стінки труби, залежить від температури, чисельне значення див. Додаток.

W_i – швидкість руху теплоносія, м/с.

Середня температура стінки труби $t_{ст} = \frac{t_1 + t_2}{2}$.

Площа поверхні теплообміну $A = \pi \cdot d_{ср} \cdot L \cdot n$,

де $d_{ср} = 0,5 \cdot (d_n + d_в)$ - середній діаметр внутрішньої труби, м;

L - довжина труби секції теплообмінника, м;

n – кількість секцій теплообмінника.

Масова витрата води $m_i = W_i \cdot S_i \cdot R_i$,

де S_i - площа поперечного перерізу внутрішньої труби або кільцевого каналу, м²;

R_i – середня щільність води, кг/м³, залежить від температури, чисельне значення див. Додаток.

Розглянувши температурні умови роботи теплообмінника, перейдемо до детального розгляду залежностей впливу конструктивних параметрів апарату на ефективність його експлуатації.

Визначення ефективних параметрів теплообміну

Теплова потужність теплообмінника обчислюється за трьома формулами:

Віддана теплова потужність $\Phi_1 = m_1 \cdot C_1 \cdot (t_{1н} - t_{1к})$, (6а)

Прийнята теплова потужність $\Phi_2 = m_2 \cdot C_2 \cdot (t_{2к} - t_{2н})$, (6б)

Теплова потужність, передана через площу теплообміну $\Phi = k \cdot A \cdot \Delta t_{ср}$, (6в)

де $\Delta t_{ср}$ - середній температурний напір, °К.

При протічанні $\Delta t_{ср}$ становить

$$\Delta t_{ср} = \frac{(t_{1н} - t_{2н}) - (t_{1к} - t_{2к})}{\ln \frac{t_{1н} - t_{2н}}{t_{1к} - t_{2к}}} \quad (7)$$

При протічанні

$$\Delta t_{ср} = \frac{(t_{1н} - t_{2к}) - (t_{1к} - t_{2н})}{\ln \frac{t_{1н} - t_{2к}}{t_{1к} - t_{2н}}} \quad (8)$$

Витрати електричної потужності на подолання гідравлічних опорів при перекачуванні первинного N_1 та вторинного N_2 теплоносіїв при ККД насоса з електроприводом $\eta = 0,95$ оцінюється тільки за змінною складовою потужності насоса ($i = 1, 2$)

$$N_i = m_i \cdot \Delta P_i / (R_i \cdot \eta), \quad (9)$$

де ΔP_i – втрати тиску по ходу рідини, Вт.

Втрати тиску води у теплообміннику

$$\Delta P_i = \frac{P_i W_i^2}{2} \left(\frac{\xi_i L}{d_i} + \zeta \right) n, \quad (10)$$

де ξ - коефіцієнт тертя;

ζ – коефіцієнт місцевих опорів ($\zeta = 4$ для внутрішньої труби та $\zeta = 5$ для кільцевого перерізу).

Коефіцієнт тертя обчислюється за співвідношенням

$$\xi_i = \frac{\left(\frac{Pr_{ст}}{Pr_i}\right)^{0,33}}{(0,79 \ln(Re_i) - 1,64)^2}. \quad (11)$$

Втрати енергії при теплообміні

$$\Pi = T_0 \Phi \frac{Tm_1 - Tm_2}{Tm_1 \cdot Tm_2}, \quad (12)$$

де T_0 – температура довкілля, °К;

Tm_1 та Tm_2 – середньо логарифмічна температура первинного та вторинного теплоносіїв, °К;

Φ - теплова потужність (бв) теплообмінника, Вт.

Середньо логарифмічна температура теплоносія обчислюється за формулою

$$Tm_i = \frac{t_{iH} - t_{iK}}{\ln \frac{t_{iH}}{t_{iK}}}, \quad (13)$$

де t_{iH} , t_{iK} - початкова та кінцева температури теплоносіїв, °К.

Енергетичний ККД визначається за формулою

$$\eta_{ex} = \frac{Tm_1 (Tm_2 - T_0 \left(1 + \frac{N_2}{\Phi_2}\right))}{Tm_2 (Tm_1 - T_0 \left(1 - \frac{N_1}{\Phi_1}\right))}. \quad (14)$$

Енергетичний ККД показує ступінь корисного використання енергії та дозволяє порівнювати за цим показником теплові машини. У розрахунково-графічній роботі слід підібрати заданий параметр теплообмінника, щоб отримати максимальний ККД.

Склад розрахункового документа

Розрахунок виконується в середовище математичного процесора Mathcad. Документ повинен включати такі блоки: титульні дані, блок вихідних даних, блок розрахунку кінцевих температур первинного та вторинного теплоносіїв (t_{1k} та t_{2k}), блок розрахунку витрат електричної потужності та коефіцієнта корисної дії теплообмінника, висновки по роботі. Кожен блок розрахунку повинен закінчуватися виведенням таблиць незалежного параметра та залежних результатів розрахунку за зразками, наведеними на рис 5 та 6. Табличні дані супроводжувати графічними побудовами, приклад, рис.3, 4.

	1	2	3	4	5	6
1	"Длина тр"	"Площадь"	"T1k"	"T2k"	"T1n-T1k"	"T2k-T2n"
2	"м"	"кв.м"	"°C"	"°C"	"°C"	"°C"
3	16	7.791	100.457	98.988	19.543	78.988
4	17	8.278	100.39	99.261	19.61	79.261

Рис 5. Приклад виведення даних перевірного розрахунку теплообмінника

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	"Длина тр"	"tm1"	"tm2"	"Δtср"	"Ф1"	"Ф2"	"Ф"	"КПД"
2	"м"	"°C"	"°C"	"°C"	"Дж/с"	"Дж/с"	"Дж/с"	"без/разм"
3	16	110.296	58.075	23.346	$3.665 \cdot 10^5$	$3.555 \cdot 10^5$	$3.555 \cdot 10^5$	0.478
4	17	110.261	58.201	22.049	$3.677 \cdot 10^5$	$3.567 \cdot 10^5$	$3.567 \cdot 10^5$	0.48

Рис 6. Приклад виведення даних конструкційного розрахунку теплообмінника

Виведення таблиць слід супроводити заголовком з іменами виведених даних та одиницями виміру.

Оцінювання результатів виконання РГР

Максимальна оцінка курсової роботи – 30 балів, розподіляється таким чином: оформлення титульних даних, вихідних даних, висновків – 10 балів, перевірений розрахунок теплообмінника та оформлення результату – 10 балів, конструкторський розрахунок та оформлення результату – 10 балів. Розрахунково-графічна робота оцінюється в 0 балів та підлягає доопрацюванню, якщо оцінка виконаних розділів менше 15 балів.

Список літератури, що рекомендується

1. Информатика. Комп'ютерна техніка. Комп'ютерні технології: Підручник. 2-е вид. – К.: Каравела, 2007. – 640 с.
2. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. Изд. 5-е, М.: «Энергия», 2003 – 345 с.
3. Кирьянов Д.В. Самоучитель MathCAD 2001. – СПб.: БХВ-Петербург, 2001. – 544с.
4. Очков В.Ф. Mathcad 12 для студентов и инженеров. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005 – 464 с.
5. Методические указания к курсовой работе по дисциплине «Вычислительная техника и программирование» для подготовки бакалавров-теплоэнергетиков / Сост. Л.П. Андреев, А.Н. Бундюк, - Одесса: ОПИ, 1992. – 10с.

Теплофізичні коефіцієнти води на лінії насичення

Температура води	Густина	Питома теплоємність	Кінематична в'язкість	Критерій фізичної подоби	Теплопро- водність води
t	R	C	$\nu \cdot 10^6$	Pr	λ
°C	Кг/м ³	кДж/(кг·К)	м ² /с	--	Вт/(м·К)
20	998,2	4,185	1,006	7,02	0,594
30	995,7	4,175	0,805	5,42	0,616
40	992,2	4,175	0,659	4,31	0,633
50	988,1	4,175	0,556	3,54	0,647
60	983,2	4,180	0,478	2,98	0,658
70	977,8	4,187	0,415	2,55	0,668
80	971,8	4,195	0,365	2,21	0,675
90	965,3	4,205	0,326	1,95	0,679
100	958,4	4,22	0,295	1,75	0,682
110	951,0	4,233	0,272	1,60	0,685
120	943,0	4,254	0,252	1,47	0,686
130	934,8	4,266	0,233	1,35	0,686
140	926,1	4,306	0,217	1,26	0,684
150	917,0	4,313	0,203	1,17	0,684