

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
УКРАЇНИ

«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

## **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

для студентів

спеціальності

“Галузеве машинобудування”

з дисципліни

**“Розрахунок і конструювання типового обладнання-2.**

**Розрахунок і конструювання товстостінних посудин,**

**теплообмінних та колонних апаратів”**

Київ-2017

Методичні вказівки до практичних занять для студентів спеціальності “Галузеве машинобудування” з дисципліни “Розрахунок і конструювання типового обладнання-2. Розрахунок і конструювання товстостінних посудин, теплообмінних та колонних апаратів” [Електронний ресурс]: НТУУ „КПІ ім. Ігоря Сікорського”; уклад. І.А.Андреев – Київ: НТУУ „КПІ”, 2017. – 99 с.

*Гриф надано Вченою радою  
інженерно-хімічного факультету  
НТУУ „КПІ ім. Ігоря Сікорського”  
(Протокол № 3 від 24 квітня 2017 р.)*

Для студентів інженерно-хімічного факультету.

Відповідальний редактор Степанюк Андрій Романович, доцент, к.т.н,

Рецензент:

Мікульонюк Ігор Олегович, професор кафедри хімічного, полімерного і силікатного машинобудування НТУУ “КПІ”, д.т.н

*Навчальне видання*

Андреев Ігор Анатолійович

## МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

для студентів спеціальності

“Галузеве машинобудування”

з дисципліни

“Розрахунок і конструювання типового обладнання-2. Розрахунок і конструювання товстостінних посудин, теплообмінних та колонних апаратів”

## Зміст

Вступ.....	4
Перелік позначень.....	4
1. Практичні заняття 1-4. Розрахунок кожухотрубного теплообмінника .....	12
2. Практичні заняття 5-8. Розрахунок колонного апарата.....	31
3. Практичне заняття 9-12. Конструювання та розрахунок товстостінних посудин.....	33
Додаток А. Модуль пружності під час розтягу.....	57
Додаток Б. Коефіцієнт лінійного розширення .....	57
Додаток В. Допустимі напруження .....	58
Додаток Г. Основні розміри і властивості стандартних лінзових компенсаторів .....	63
Додаток Д. Розрахункові значення коефіцієнтів для визначення напруження й жорсткості .....	67
Додаток Е. Розрахункові значення границі плинності і границі міцності .....	91
Додаток Ж. Коефіцієнти міцності зварних швів.....	97
Додаток З. Сталевий листовий прокат.....	97
Додаток І. Додаткові дані для розрахунку затворів апаратів високого тиску.....	98

## Вступ

Дисципліна «Розрахунок і конструювання типового обладнання-2. Розрахунок і конструювання товстостінних посудин, теплообмінних та колонних апаратів» викладається на кафедрі МАХНВ НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» у 7 семестрі студентам, які навчаються за спеціальністю «Галузеве машинобудування». Дисципліна має дати знання забезпечення міцності, стійкості, жорсткості, герметичності, корозійної тривкості і конструктивної довершеності основних елементів обладнання хімічних виробництв.

Метою практичних занять є набуття досвіду проведення розрахунків основних елементів товстостінних посудин, теплообмінних та колонних апаратів, систематизація і закріплення лекційного матеріалу.

Теоретичні положення дисципліни викладені у навчально-методичних розробках викладачів кафедри, посилання на які подаються окремо у кожному розділі вказівок.

## ПЕРЕЛІК ПОЗНАЧЕНЬ

$A$  – величина, яка застосовується при визначенні допустимих амплітуд напружень, МПа;

$A_{j1}, A_{j2}$  – площі площадок обслуговування, м<sup>2</sup>;

$B$  – величина, яка застосовується при визначенні допустимих амплітуд напружень, МПа;

$b$  – ширина плоскої прокладки, м;

$c$  – сума додатків до розрахункової товщини стінки, м;

$C_1$  – додаток до розрахункової товщини стінки для компенсації корозії та (або) ерозії, м;

$C_2$  – додаток до розрахункової товщини стінки для компенсації мінусового допуску, м;



$C_3$  – додаток до розрахункової товщини стінки для компенсації стоншення стінки елемента посудини або апарата при технологічних операціях, м;

$\tilde{N}_w$  – коефіцієнт жорсткості однієї хвилі компенсатора при осьовому розтягуванні;

$C_x$  – досвідний коефіцієнт;

$D$  – внутрішній діаметр теплообмінника (колонного апарата), м;

$D_1$  – внутрішній діаметр ущільнення, м;

$D_n$  – розрахунковий діаметр, м;

$D_R$  – розрахунковий діаметр ущільнювальної поверхні, м;

$D_3$  – зовнішній діаметр теплообмінника, м;

$D_k$  – діаметр фундаментного кільця опори, м;

$D_n$  – зовнішній діаметр западини хвилі компенсатора, м;

$D_y$  – умовний діаметр, м;

$D_o$  – внутрішній діаметр проточки, м;

$d$  – розрахунковий діаметр западини хвилі компенсатора (діаметр отвору), м;

$d_1$  – діаметр центрального отвору, м;

$d_3$  – діаметр некрізного отвору, м;

$d_{3R}$  – розрахунковий діаметр некрізного отвору, м;

$d_8$  – внутрішній діаметр труби кожухотрубного теплообмінника, м;

$d_3$  – зовнішній діаметр труби кожухотрубного теплообмінника, м;

$E$  – модуль пружності в умовах розтягу матеріалу компенсатора при розрахунковій температурі, МПа;

$E_k$  – модуль пружності в умовах розтягу матеріалу кожуха за розрахункової температури, МПа;

$E_{mp}$  – модуль пружності в умовах розтягу матеріалу труб за розрахункової температури, МПа;

$F$  – розрахункове зусилля, що діє на шпильки, МН;  
 $F_p$  – осьова реакція прокладки, МН;  
 $F_Q$  – осьове навантаження від дії тиску середовища на кришку, МН;  
 $F_e$  – площа поперечного перерізу кожуха, м<sup>2</sup>;  
 $F_{\delta\delta}$  – площа поперечного перерізу труб, м<sup>2</sup>;  
 $F_{u1}$  – монтажне зусилля затягання шпильок, МН;  
 $F_{u2}$  – осьове навантаження від дії тиску середовища на кришку, МН;  
 $H$  – висота колонного апарата (внутрішня висота еліптичної частини днища), м;  
 $H_1$  – висота опорної обичайки, м;  
 $h$  – висота хвилі компенсатора (довжина циліндричної відбортованої частини), м;  
 $h_0$  – висота ущільнювального кільця, м;  
 $h_1, h_2$  – основні розміри ущільнення з двоконусним кільцем, м;  
 $K$  – коефіцієнт міцності днища;  
 $\hat{E}_\sigma$  – ефективний коефіцієнт концентрації;  
 $\hat{E}_o$  – коефіцієнт ослаблення днища;  
 $L$  – довжина труб, м;  
 $l$  – ширина хвилі компенсатора, м;  
 $l_1$  – довжина некрізного отвору, м;  
 $m$  – прокладочний коефіцієнт;  
 $N_p$  – кількість циклів тиску;  
 $N_w$  – загальна кількість циклів переміщень компенсатора за період експлуатації;  
 $n$  – кількість труб;  
 $n_N$  – коефіцієнт запасу міцності за кількістю циклів;

$n_{\sigma}$  – коефіцієнти запасу міцності за напруженнями;

$p, p_R$  – розрахунковий тиск, МПа;

$p_F$  – розрахунковий тиск з урахуванням впливу попереднього зтягання при визначенні розрахункового зусилля, МПа;

$p_k$  – розрахунковий тиск у кожусі теплообмінника, МПа;

$p_{mp}$  – розрахунковий тиск у трубах теплообмінника, МПа;

$p_y$  – умовний тиск, МПа;

$Q^p$  – осьове зусилля, яке розтягує труби і кожух, МН;

$Q_1^p$  – сила, що діє на кришку або днище теплообмінника від тиску у трубному просторі  $p_{тр}$ , МН;

$Q_2^p$  – сила, що діє на трубну решітку з боку кришки або днища, МН;

$Q_3^p$  – розпірна сила від тиску  $p_k$ , що діє на трубну решітку з боку міжтрубного простору, МН;

$Q_{\varepsilon}^p$  – осьове зусилля, яке сприймає кожух теплообмінника від тиску в апараті, МН;

$Q_{\delta}^p$  – осьове зусилля, яке сприймають труби теплообмінника від тиску в апараті, МН;

$Q^t$  – температурне зусилля, МН;

$Q_{\varepsilon}^t$  – температурне зусилля в кожусі, МН;

$Q_{\delta}^t$  – температурне зусилля в трубах, МН;

$R$  – внутрішній радіус, м;

$R_{(CW)}$  – розрахунковий коефіцієнт для визначення жорсткості однієї хвилі компенсатора під час переміщення  $W = 1,0$  мм;

$R_{(P)}$  – розрахунковий коефіцієнт для визначення напруження, якщо навантаження тиском  $p_R = 0,1$  МПа;

$R_{(W)}$  – розрахунковий коефіцієнт для визначення напруження, якщо навантаження осьовим переміщенням  $W = 1,0$  мм ( $10^{-3}$  м);

$R_{\epsilon}$  – мінімальне значення тимчасового опору (границі міцності) за розрахункової температури, МПа;

$R_{\delta}$  – радіус кривизни днища, м;

$R_3$  – зовнішній радіус, м;

$R_0$  – границя плинності за розрахункової температури, МПа;

$r$  – радіус тороїдного переходу у верхній і нижній частинах компенсатора (поточний радіус), м;

$r$  – радіус закруглення, м;

$S$  – виконавча товщина стінки обичайки (компенсатора), м;

$S_I$  – виконавча товщина днища, м;

$S'_1$  – виконавча товщина днища у першому наближенні, м;

$S_2$  – мінімальна товщина днища в зоні проточки, м;

$S_{np}$  – товщина прокладки, м;

$t$  – приєднувальна довжина циліндричної частини компенсатора, м;

$t_I$  – відстань від краю отвору до внутрішньої циліндричної поверхні днища, м;

$t_{\epsilon}$  – внутрішня температура, °С;

$t_3$  – зовнішня температура, °С;

$t_k$  – розрахункова температура кожуха теплообмінника (стінки компенсатора), °С;

$t_m$  – монтажна температура, °С;

$t_{mp}$  – розрахункова температура труб теплообмінника, °С;

$t_R$  – розрахункова температура, °С;

$W$  – осьове переміщення, м;

$x$  – досвідний коефіцієнт;

$x_{j1}, x_{j2}$  – висоти розташування площадок обслуговування, м;  
 $\alpha_t$  – коефіцієнт термічного розширення матеріалу обичайки при розрахунковій температурі, 1/К;  
 $\alpha_k$  – коефіцієнт лінійного розширення матеріалу кожуха в робочих умовах, 1/К;  
 $\alpha_{mp}$  – коефіцієнт лінійного розширення матеріалу труб в робочих умовах, 1/К.;  
 $\beta$  – коефіцієнт товстостінності;  
 $\beta_R$  – розрахунковий коефіцієнт товстостінності;  
 $\gamma$  – кут нахилу ущільнювальної поверхні корпусу або кришки посудини до вертикалі, град.;  
 $\gamma_1$  – кут нахилу ущільнювальної поверхні ущільнювального кільця, град.;  
 $\theta$  – кут між нормаллю до внутрішньої поверхні на краю днища і віссю апарата, град.;  
 $\mu$  – коефіцієнт Пуассона;  
 $\xi$  – коефіцієнт, що враховує тип зварного шва;  
 $\rho$  – коефіцієнт, що враховує обробку зварного шва;  
 $\rho$  – кут тертя, град.;  
 $\sigma_{0,2}$  – умовна границя плинності при розрахунковій температурі, МПа;  
 $\sigma_{1,0}$  – умовна границя плинності при розрахунковій температурі, МПа;  
 $\sigma_{0,2}^*$  – умовна границя плинності матеріалу поковок, визначена за ГОСТ 25054, МПа;  
 $\sigma_{1,0}^{20}$  – умовна границя плинності при температурі 20<sup>0</sup> С, МПа;

$\sigma_{AP}$  – амплітуда максимального еквівалентного напруження від тиску, МПа;

$\sigma_{AW}$  – амплітуда максимального еквівалентного напруження від переміщення однієї хвилі, МПа;

$\sigma_N$  – осьове напруження, МПа;

$\sigma_r$  – радіальне напруження, МПа;

$\sigma_t$  – кільцеве напруження, МПа;

$\sigma_B$  – границя міцності, МПа;

$\sigma_k$  – сумарні напруження у кожусі теплообмінника, МПа;

$\sigma_n$  – герметизуюче напруження зім'якшення прокладки для розрахункового тиску, МПа;

$\sigma_T$  – границя плинності, МПа;

$\sigma_{T,i}^{20}$  – границя плинності матеріалу кільця при 20 °С, МПа;

$\sigma_{T,k}$  – мінімальне значення границі плинності матеріалу поверхні, що ущільнюється, при розрахунковій температурі, МПа;

$\sigma_{T,k}^{20}$  – мінімальне значення границі плинності матеріалу поверхні, що ущільнюється при 20 °С, МПа;

$\sigma_{T,корп.}$  – мінімальне значення границі плинності матеріалу корпусу при розрахунковій температурі, МПа;

$\sigma_{T,кр.}$  – мінімальне значення границі плинності матеріалу кришки при розрахунковій температурі, МПа;

$\sigma_{тр}$  – сумарні напруження у трубах теплообмінника, МПа;

$\sigma_{\delta\delta}$  – середні колові напруження, МПа;

$\sigma_{V(P)}$  – максимальні еквівалентні напруження, зумовлені дією внутрішнього (зовнішнього) тиску, МПа;

$\sigma_{V(W)}$  – максимальні еквівалентні напруження під час осьового переміщення однієї хвилі компенсатора, МПа;

$\sigma_{\delta\delta}^{\delta}$  – напруження в кожусі, зумовлене силою  $Q_K^p$ , МПа;

$\sigma_{\delta\delta}^{\delta}$  – напруження у трубах, зумовлене силою  $Q_{тр}^p$ , МПа;

$\sigma_{\varepsilon}^t$  – напруження у кожусі, яке обумовлене обмеженістю температурних деформацій, МПа;

$\sigma_{\delta\delta}^t$  – напруження у трубах, які зумовлені обмеженістю температурних деформацій, МПа;

$[\sigma]$  – допустиме напруження за розрахункової температури, МПа;

$[\sigma]_k$  – допустимі напруження матеріалу кожуха для робочих умов, якщо  $\eta = 1$  (допустиме контактне напруження на ущільнювальних поверхнях при розрахунковій температурі), МПа;

$[\sigma]_{mp}$  – допустимі напруження матеріалу труб для робочих умов, якщо  $\eta = 1$ , МПа;

$[\sigma]_{AP}$  – допустима амплітуда напружень для кількості циклів тиску  $N_P$ , МПа;

$[\sigma]_{AW}$  – допустима амплітуда напружень для кількості циклів переміщень  $N_W$ , МПа;

$\varphi$  – коефіцієнт міцності зварного шва.

## 1. ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ 1-4.

### РОЗРАХУНОК КОЖУХОТРУБНОГО ТЕПЛООБМІННИКА

#### Література

1. Андреев І.А. Конструювання і розрахунок типового устаткування хімічних виробництв. Основні положення. Елементи тонкостінних посудин, навантажених внутрішнім тиском. Навч. посібник. – К.: «Видавництво «Політехніка», 2011. – 272 с.

2. Андреев І.А., Зубрій О.Г., Мікуленок І.О. Застосування матеріалів у хімічному машинобудуванні. Сталі і чавуни, – К.: ІЗМН, 1999. –148 с.

3. Андреев І.А., Мікульонок І.О. Розрахунок, конструювання та надійність обладнання хімічних виробництв: Термінологічний словник. – К.: ІВЦ “Видавництво «Політехніка»”, 2002. – 216 с.

4. Андреев І.А., Мікульонок І.О. Розрахунок лінзових і сильфонних компенсаторів. Навч. посібник. – К.: “Видавництво «Політехніка»”, 2008. – 88 с.

5. Чернобыльский И.И., Бондарь А.Г., Гаевский Б.А. и др. Машины и аппараты химических производств. Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: «Машиностроение», 1975. – 454 с.

#### Завдання на 1 практичне заняття

Виконати конструктивний розрахунок кожухотрубчатого теплообмінника.

Вихідні дані до розрахунків кожухотрубчатого теплообмінника наведено нижче і у таблицях 1.1 і 1.2.

Апарат – зварний. Зварний шов – стиковий, що виконується автоматичним зварюванням з одного боку і контролюється по всій довжині. Внутрішній діаметр труби кожухотрубного теплообмінника  $d_k = 0,021$  м.



Зовнішній діаметр труби кожухотрубного теплообмінника  $d_3 = 0,025$  м.  
 Матеріал труб теплообмінника – сталь 20. Монтажна температура  $t_M = 20$  °С. Сума додатків до розрахункової товщини  $c = 0,001$  м.

Таблиця 1.1. Вихідні дані до розрахунків

Ва-ріант	$D$ , м	$D_3$ , м	$L$ , м	$p_k$ , МПа	$p_m$ , МПа	$t_k$ , °С	$t_m$ , °С	Марка сталі кожуха апарата	$n$
1	0,4	0,41	2	1,1	1,15	170	80	09Г2С	111
2	0,4	0,41	2	1,0	1,1	160	80	20К	111
3	0,4	0,41	2	1,1	1,2	165	80	16ГС	111
4	0,5	0,51	3	0,8	0,9	155	70	20	185
5	0,5	0,51	3	1,0	1,1	165	70	09Г2С	185
6	0,5	0,51	3	0,7	0,8	150	70	Ст3пс	185
7	0,6	0,61	4	0,9	1,0	160	85	16ГС	241
8	0,6	0,61	4	0,6	0,7	150	85	20	241
9	0,6	0,61	4	0,8	0,9	100	60	09Г2С	241
10	0,7	0,71	4	0,63	0,7	150	85	20	351
11	0,7	0,71	4	0,7	0,8	150	75	20К	351
12	0,7	0,71	4	0,54	0,6	140	75	Ст3пс	351
13	0,8	0,812	6	0,74	0,8	155	75	20К	465
14	0,8	0,81	6	0,54	0,6	150	80	10	465
15	0,8	0,812	6	0,64	0,7	155	80	Ст3пс	465
16	0,9	0,91	6	0,44	0,6	140	70	10	601
17	0,9	0,912	6	0,54	0,6	150	70	Ст3пс	601
18	0,9	0,912	6	0,50	0,6	170	80	09Г2С	601
19	1,0	1,012	9	0,45	0,5	175	80	16ГС	747
20	1,0	1,012	9	0,40	0,5	160	75	09Г2С	747

Таблиця 1.2. Вид зварного шва

Варіант	Вид зварного шва
1, 2	Стиковий, що виконується вручну з одного боку
3, 4	Стиковий з двобічним суцільним проваром, що виконується автоматичним зварюванням
5, 6, 7	Стиковий, що доступний для зварювання з одного боку і що має у процесі зварювання металеву підкладку з боку кореня шва, яка прилягає по всій довжині шва до основного металу
8, 9, 10, 11	Стиковий з підварюванням кореня шва, що виконується вручну
12, 13	Стиковий з двобічним суцільним проваром, що виконується автоматичним зварюванням
14, 15	Стиковий з підварюванням кореня шва, що виконується вручну
16, 17	Стиковий з двобічним суцільним проваром, що виконується автоматичним зварюванням
18, 19, 20	Стиковий з підварюванням кореня шва, що виконується вручну

Алгоритм конструктивного розрахунку кожухотрубчатого теплообмінника наведено у підручнику [5].

## **Завдання на 2 практичне заняття**

Виконати спрощений розрахунок на міцність кожухотрубного теплообмінника.

### **Алгоритм спрощеного розрахунку на міцність кожухотрубного теплообмінника, визначення потреби застосовувати температурний компенсатор і приклад розрахунку**

*Вихідні дані.* Розрахувати кожухотрубний одноходовий теплообмінник на міцність за спрощеною методикою. Апарат – зварний. Зварний шов – стиковий, що виконується автоматичним зварюванням з одного боку і контролюється по всій довжині. Внутрішній діаметр кожуха теплообмінника  $D = 0,6$  м. Зовнішній діаметр кожуха теплообмінника  $D_3 = 0,61$  м. Внутрішній діаметр труби кожухотрубного теплообмінника  $d_k = 0,021$  м. Зовнішній діаметр труби кожухотрубного теплообмінника  $d_3 = 0,025$  м. Відстань між трубними дошками  $L = 4$  м. Матеріал кожуха теплообмінника – сталь СтЗсп. Матеріал труб теплообмінника – сталь 20. Розрахунковий тиск у кожусі теплообмінника  $p_k = 0,67$  МПа. Розрахунковий тиск у трубах теплообмінника  $p_{тр} = 0,82$  МПа. Розрахункова температура кожуха теплообмінника  $t_k = 168$  °С. Розрахункова температура труб теплообмінника  $t_{тр} = 80$  °С. Монтажна температура  $t_m = 20$  °С. Коефіцієнт лінійного розширення матеріалу кожуха в робочих умовах  $\alpha_k = 12,6 \cdot 10^{-6}$  1/К. Коефіцієнт лінійного розширення матеріалу труб у робочих умовах  $\alpha_{тр} = 11,6 \cdot 10^{-6}$  1/К. Сума додатків до розрахункової товщини  $c = 0,001$  м.

Таблиця 1.3. Алгоритм і приклад розрахунку кожухотрубного одноходового теплообмінника на міцність за спрощеною методикою

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
Визначення напружень, які виникають у кожусі і трубах теплообмінника від тиску			
1.	Сила, що діє на кришку або днище теплообмінника від тиску у трубному просторі $p_{\text{тр}}$ , МН	$Q_1^p = p_{\text{тр}} \frac{\pi D^2}{4}$	$Q_1^p = 0,82 \frac{3,14 \cdot 0,6^2}{4} = 0,23 \text{ МН}$
2.	Сила, що діє на трубну решітку з боку кришки або днища, МН	$Q_2^p = p_{\text{тр}} \frac{\pi}{4} (D^2 - nd_B^2)$	$Q_2^p = 0,82 \frac{3,14}{4} (0,6^2 - 241 \cdot 0,021^2) = 0,16 \text{ МН}$
3.	Розпірна сила від тиску $p_{\text{к}}$ , що діє на трубну решітку з боку міжтрубного простору, МН	$Q_3^p = p_{\text{к}} \frac{\pi}{4} (D^2 - nd_3^2)$	$Q_3^p = 0,67 \frac{3,14}{4} (0,6^2 - 241 \cdot 0,025^2) = 0,11 \text{ МН}$
4.	Осьове зусилля, яке розтягує труби і кожух, МН	$Q^p = Q_1^p - Q_2^p + Q_3^p$	$Q^p = 0,23 - 0,16 + 0,11 = 0,18 \text{ МН}$
5.	Площа поперечного перерізу труб, $\text{м}^2$	$F_{\text{тр}} = n \frac{\pi}{4} (d_3^2 - d_B^2)$	$F_{\text{тр}} = 241 \frac{3,14}{4} (0,025^2 - 0,021^2) = 0,0348 \text{ м}^2$
6.	Площа поперечного перерізу кожуха, $\text{м}^2$	$F_{\text{к}} = \frac{\pi}{4} (D_3^2 - D^2)$	$F_{\text{к}} = \frac{3,14}{4} (0,61^2 - 0,6^2) = 0,0095 \text{ м}^2$
7.	Модуль пружності в умовах розтягу матеріалу труб за розрахункової температури, МПа	$E_{\text{тр}}$ визначають за табл. А.1 залежно від матеріалу труб і розрахункової температури труб $t_{\text{тр}}$	Для сталі 20, якщо $t_{\text{тр}} = 80 \text{ }^\circ\text{C}$ $E_{\text{тр}} = 1,93 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
8.	Модуль пружності в умовах розтягу матеріалу кожуха за розрахункової температури, МПа	$E_k$ визначають за табл. А.1 залежно від матеріалу кожуха і розрахункової температури кожуха $t_k$	Для сталі СтЗсп, якщо $t_{тр} = 168$ °С, $E_k = 1,84 \cdot 10^5$ МПа
9.	Осьове зусилля, яке сприймають труби теплообмінника від тиску в апараті, МН	$Q_{тр}^p = \frac{Q^p E_{тр} F_{тр}}{E_k F_k + E_{тр} F_{тр}}$	$Q_{тр}^p = \frac{0,18 \cdot 1,93 \cdot 10^5 \cdot 0,0348}{1,84 \cdot 10^5 \cdot 0,0095 + 1,93 \cdot 10^5 \cdot 0,0348} =$ =0,143 МН
10.	Осьове зусилля, яке сприймає кожух теплообмінника від тиску в апараті, МН	$Q_k^p = \frac{Q^p E_k F_k}{E_k F_k + E_{тр} F_{тр}}$	$Q_k^p = \frac{0,18 \cdot 1,84 \cdot 10^5 \cdot 0,0095}{1,84 \cdot 10^5 \cdot 0,0095 + 1,93 \cdot 10^5 \cdot 0,0348} =$ =0,037 МН
11.	Напруження у трубах, зумовлене силою $Q_{тр}^p$	$\sigma_{тр}^p = \frac{Q_{тр}^p}{F_{тр}}$	$\sigma_{тр}^p = \frac{0,143}{0,0348} = 4,109$ МПа
12.	Напруження в кожусі, зумовлене силою $Q_k^p$	$\sigma_k^p = \frac{Q_k^p}{F_k}$	$\sigma_k^p = \frac{0,037}{0,0095} = 3,895$ МПа

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
Визначення температурних напружень, які виникають у кожусі і трубах теплообмінника			
13.	Коефіцієнт лінійного розширення матеріалу кожуха, 1/К	$\alpha_k$ визначають за табл. Б.1 залежно від матеріалу труб і розрахункової температури кожуха $t_e$	$\alpha_k = 12,6 \cdot 10^{-6} \text{ 1/К}$
14.	Коефіцієнт лінійного розширення матеріалу труб, 1/К	$\alpha_{тр}$ визначають за табл. Б.1 залежно від матеріалу труб і розрахункової температури труб $t_{тр}$	$\alpha_{тр} = 11,6 \cdot 10^{-6} \text{ 1/К}$
15.	Температурне зусилля, МН	$Q^t = \left  \frac{[\alpha_k(t_k - t_m) - \alpha_{тр}(t_{тр} - t_m)] E_{тр} F_{тр} E_k F_k}{E_{тр} F_{тр} + E_k F_k} \right $	$Q^t = \left  \frac{[12,6 \cdot 10^{-6}(168 - 20) - 11,6 \cdot 10^{-6}(80 - 20)]}{1,93 \cdot 10^5 \cdot 0,0348 + 1,84 \cdot 10^5 \cdot 0,0095} \right  \times$ $\times 1,93 \cdot 10^5 \cdot 0,0348 \cdot 1,84 \cdot 10^5 \cdot 0,0095 = 1,6225 \text{ МН}$
16.	Температурне зусилля у трубах, МН	$Q_{тр}^t = Q^t, \text{ якщо кожух розтягується } \{[\alpha_k(t_k - t_m) - \alpha_{тр}(t_{тр} - t_m)] > 0\};$ $Q_{op}^t = -Q^t, \text{ якщо кожух розтягується } \{[\alpha_k(t_k - t_m) - \alpha_{тр}(t_{тр} - t_m)] < 0\}$	$[\alpha_k(t_k - t_m) - \alpha_{тр}(t_{тр} - t_m)] = 0,00117 > 0,$ тому $Q_{тр}^t = 1,6225 \text{ МН}$

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
17.	Температурне зусилля в кожусі, МН	$Q_k^t = Q^t$ , якщо кожух розтягується $\{\alpha_k(t_k - t_m) - \alpha_{тр}(t_{тр} - t_m)\} < 0\};$ $Q_k^t = -Q^t$ , якщо кожух розтягується $\{\alpha_k(t_k - t_m) - \alpha_{тр}(t_{тр} - t_m)\} > 0\}$	$[\alpha_{\epsilon}(t_{\epsilon} - t_i) - \alpha_{\delta\delta}(t_{\delta\delta} - t_i)] = 0,00117 >$ $> 0,$ тому $Q_k^t = -1,6225$ МН
18.	Напруження у трубах, які зумовлені обмеженістю температурних деформацій, МПа	$\sigma_{тр}^t = \frac{Q_{тр}^t}{F_{тр}}$	$\sigma_{тр}^t = \frac{1,6225}{0,0348} = 46,62$ МПа
19.	Напруження у кожусі, які зумовлені обмеженістю температурних деформацій, МПа	$\sigma_k^t = \frac{Q_k^t}{F_k}$	$\sigma_k^t = \frac{-1,6225}{0,0095} = -170,79$ МПа
Перевірка умови міцності			
20.	Сумарні напруження у трубах теплообмінника, МПа	$\sigma_{тр} = \sigma_{тр}^p + \sigma_{тр}^t$	$\sigma_{тр} = 4,109 + 46,62 = 50,729$ МПа
21.	Сумарні напруження в кожусі теплообмінника, МПа	$\sigma_k = \sigma_k^p + \sigma_k^t$	$\sigma_k = 3,895 - 170,79 = -166,895$ МПа
22.	Допустимі напруження матеріалу труб для робочих умов, якщо $\eta=1$ , МПа	$[\sigma]_{тр}$ визначають за табл. В.1–В.4 залежно від матеріалу труб і розрахункової температури труб $t_{тр}$	Для сталі 20, якщо $t_{тр} = 80$ °С $[\sigma]_{тр} = 143$ МПа

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
23.	Допустимі напруження матеріалу кожуха для робочих умов, якщо $\eta=1$ , МПа	$[\sigma]_k$ визначають за табл. В.1–В.4 залежно від матеріалу кожуха і розрахункової температури кожуха $t_k$	Для сталі Ст3, якщо $t_R = 168 \text{ }^\circ\text{C}$ $[\sigma]_k = 144 \text{ МПа}$
24.	Умова міцності	$\sigma_{\text{тр}} \leq [\sigma]_{\text{тр}};$ $\sigma_k \leq [\sigma]_k.$ Під час перевірки умови міцності з допустимими напруженнями порівнюють абсолютні значення сумарних напружень	$50,729 \text{ МПа} < 143 \text{ МПа}$ . Умова міцності для труб виконується. $166,895 \text{ МПа} > 144 \text{ МПа}$ . Умова міцності для кожуха не виконується. Таким чином, розглянута конструкція теплообмінника не придатна до експлуатації у робочих умовах

*Примітка.* Якщо умова міцності не виконується, розглядають можливість застосування температурного компенсатора.



### Завдання на 3 і 4 практичні заняття

Розрахувати одношаровий лінзовий компенсатор, який приварюється на кожусі кожухотрубного теплообмінника і складається з однієї лінзи. Поверхня зварного шва не оброблюється. Загальна кількість циклів переміщень компенсатора за період експлуатації  $N_W = 1000$ , кількість циклів тиску  $N_P = 1000$ . Компенсатор виготовлено з тієї ж сталі, що і кожух теплообмінника. Матеріал труб теплообмінника – сталь 20. Внутрішній розрахунковий тиск дорівнює розрахунковому тиску у міжтрубному просторі кожухотрубного теплообмінника. Сума додатків до розрахункової товщини  $c = 0,001$  м. Монтажна температура  $t_m = 20$  °С. Решта даних до розрахунку наведено у таблицях 1.1 і 1.2.

#### **Алгоритм розрахунку лінзових і сильфонних компенсаторів на міцність, жорсткість і малоциклову міцність і приклад розрахунку**

*Вихідні дані до прикладу розрахунку.* Розрахувати одношаровий лінзовий компенсатор, який приварюється на кожусі кожухотрубного теплообмінника і складається з однієї лінзи. Зварний шов – стиковий, що виконується автоматичним зварюванням або вручну з одного боку по зовнішньому діаметру компенсатора і контролюється по всій довжині. Поверхня зварного шва не оброблюється. Загальна кількість циклів переміщень компенсатора за період експлуатації  $N_W = 1000$ , кількість циклів тиску  $N_P = 1000$ . Компенсатор виготовлено зі сталі Ст3сп. Матеріал кожуха теплообмінника – сталь Ст3сп. Матеріал труб теплообмінника – сталь 20. Внутрішній діаметр кожуха теплообмінника  $D = 0,6$  м. Відстань між трубними дошками  $L = 4$  м. Внутрішній розрахунковий тиск дорівнює розрахунковому тиску у міжтрубному просторі кожухотрубного теплообмінника  $p_R = p_K = 0,67$  МПа. Сума додатків до розрахункової товщини  $c = 0,001$  м. Розрахункова температура компенсатора (кожуха теплообмінника)  $t_R = t_K = 168$  °С. Розрахункова температура труб теплообмінника  $t_{тр} = 80$  °С. Монтажна температура  $t_m = 20$  °С. Коефіцієнт лінійного розширення матеріалу кожуха у робочих умовах  $\alpha_K = 12,6 \cdot 10^{-6}$  1/К. Коефіцієнт лінійного розширення матеріалу труб у робочих умовах  $\alpha_{тр} = 11,6 \cdot 10^{-6}$  1/К.

Таблиця 1.4. Алгоритм і приклад розрахунку лінзових і сільфонних компенсаторів на міцність, жорсткість і малоциклову міцність

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
Визначення основних розмірів стандартних компенсаторів, допустимого напруження і модуля пружності в умовах розтягування матеріалу компенсатора			
1.	Умовний діаметр, м	$D_y$ визначають за табл. Г.1 для лінзових компенсаторів за табл. 1.4 [4] для сільфонних компенсаторів і табл. 1.5 [4] для сільфонних компенсаційних пристроїв залежно від внутр. діаметра $D$	$D_y = 0,6$ м
2.	Умовний тиск компенсатора, МПа	$p_y$ визначають за табл. Г.1 для лінзових компенсаторів за табл. 1.4 [4] для сільфонних компенсаторів і табл. 1.5 [4] для сільфонних компенсаційних пристроїв залежно від розрах. тиску $p_k$	$p_y = 1$ МПа
3.	Виконавча товщина стінки компенсатора, м	$s$ визначають за табл. Г.1 для лінзових компенсаторів залежно від умовного діаметра $D_y$ та умовного тиску $p_y$	$s = 3$ мм = 0,003 м
4.	Зовнішній діаметр западини хвилі компенсатора, м	$D_H$ визначають за табл. Г.1 для лінзових компенсаторів залежно від умовного діаметра $D_y$ та умовного тиску $p_y$	Для $D_y = 0,6$ і $p_y = 1$ МПа $D_H$ розраховують за формулою $D_H = D_y + 0,012$ , м $D_H = 0,6 + 0,012 = 0,612$ м
5.	Розрахунковий діаметр западини хвилі компенсатора, м	$d = D_H - s$	$d = 0,612 - 0,003 = 0,609$ м

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
6.	Висота хвилі компенсатора, м	$h$ визначають за табл. Г.1 для лінзових компенсаторів залежно від умовного діаметра $D_y$ і умовного тиску $p_y$	Для $D_y = 0,6$ і $p_y = 1$ МПа, $h = 0,075$ м
7.	Радіус тороїдного переходу у верхній і нижній частинах компенсатора, м	$r$ визначають за табл. Г.1 для лінзових компенсаторів залежно від умовного діаметра $D_y$ і умовного тиску $p_y$	Для $D_y = 0,6$ і $p_y = 1$ МПа, $r = 0,017$ м
8.	Ширина хвилі компенсатора, м	$l$ визначають за табл. Г.1 для лінзових компенсаторів залежно від умовного діаметра $D_y$ і умовного тиску $p_y$	Для $D_y = 0,6$ і $p_y = 1$ МПа, $l = 0,072$ м
9.	Допустимі напруження матеріалу компенсатора для робочих умов, якщо $\eta=1$ , МПа	$[\sigma]$ визначають за табл. В.1–В.4 залежно від матеріалу компенсатора і розрахункової температури $t_R$	Для сталі Ст3, якщо $t_R = 168$ °С, $[\sigma] = 144$ МПа
10.	Модуль пружності в умовах розтягу матеріалу компенсатора при розрахунковій температурі, МПа	$E$ визначають за табл. А.1 залежно від матеріалу компенсатора і розрахункової температури $t_R$	Для сталі Ст3, якщо $t_R = 168$ °С, $E = 1,84 \cdot 10^5$ МПа

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
Перевірка умов застосування розрахункових формул			
11.	Умови застосування розрахункових формул	$3,0 \leq \frac{d}{h} \leq 100; \quad 0,1 \leq \frac{r}{h} \leq 0,5;$ $0,018 \leq \frac{s}{h} \leq 0,1$	$\frac{d}{h} = \frac{0,609}{0,075} = 8,12; \quad 3,0 < 8,12 < 100;$ $\frac{r}{h} = \frac{0,017}{0,075} = 0,23; \quad 0,1 < 0,23 < 0,5;$ $\frac{s}{h} = \frac{0,003}{0,075} = 0,04; \quad 0,018 < 0,04 < 0,1.$ <p>Умови виконуються</p>
24	12. Приєднувальна довжина циліндричної частини компенсатора, м	$t \leq \sqrt{D(s-c)},$ <p>в іншому випадку необхідно перевірити несучу здатність з'єднувального елемента сполучення за формулою</p> $p_R \leq \frac{2[\sigma](s-c)}{D+s} \left( 1 + \frac{1,45D(s-c)}{t^2} \right),$	$\sqrt{D(s-c)} = \sqrt{0,6(0,003-0,001)} = 0,035 \text{ м.}$ <p>Приєднувальна довжина циліндричної частини компенсатора <math>t</math> буде значно меншою за 0,035 м, оскільки ширина хвилі компенсатора <math>l = 0,072</math> м (див. рис. 2.4), тобто умова виконується</p>
13.	Температурна умова	<p>Формули застосовні за умови, що розрахункова температура стінки компенсатора не перевищує, °С:</p> <p>380 – з вуглецевої сталі; 420 – з низьколегованої сталі; 525 – з аустенітної сталі</p>	$t_k = 168 \text{ °С} < 380 \text{ °С}$ <p>Умова виконуються</p>

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
Розрахунок напружень у компенсаторі			
14.	Розрахунковий коефіцієнт для визначення напруження, якщо навантаження тиском $p_R = 0,1$ МПа	$R_{(P)}$ визначають за табл. Д.1 додатка Д (коефіцієнт для визначення максимального еквівалентного напруження на боці більшого діаметра компенсатора) і табл. Д.2 додатка Д (коефіцієнт для визначення максимального еквівалентного напруження на боці меншого діаметра компенсатора) залежно від геометричних параметрів $d/h$ , $r/h$ і $s/h$ . Проміжні значення коефіцієнтів визначають лінійною інтерполяцією. Для розрахунку напружень беруть більше значення коефіцієнта $R_{(P)}$ з табл. Д.1 і Д.2	Коефіцієнт для визначення максимального еквівалентного напруження на боці більшого діаметра компенсатора $R_{(P)} = 19,72$ . Коефіцієнт для визначення максимального еквівалентного напруження на боці меншого діаметра компенсатора $R_{(P)} = 19,60$ . $R_{(P)} = 19,72$
15.	Розрахунковий коефіцієнт для визначення напруження, якщо навантаження осьовим переміщенням $W = 1,0$ мм ( $10^{-3}$ м)	$R_{(W)}$ визначають за табл. Д.1 додатка Д (коефіцієнт для визначення максимального еквівалентного напруження на боці більшого діаметра компенсатора) і табл. Д.2 додатка Д (коефіцієнт для визначення максимального еквівалентного напруження на боці меншого діаметра компенсатора) залежно від геометричних параметрів $d/h$ , $r/h$ і $s/h$ . Проміжні значення коефіцієнтів визначають лінійною інтерполяцією. Для розрахунку напружень беруть більше значення коефіцієнта $R_{(W)}$ з табл. Д1 і Д2.	Коефіцієнт для визначення максимального еквівалентного напруження на боці більшого діаметра компенсатора $R_{(W)} = 153,78$ . Коефіцієнт для визначення максимального еквівалентного напруження на боці меншого діаметра компенсатора $R_{(W)} = 153,78$ . $R_{(W)} = 153,78$

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
16.	Розрахунковий коефіцієнт для визначення жорсткості однієї хвилі компенсатора під час переміщення $W = 1,0$ мм	$R_{(CW)}$ визначають за табл. Д.1 додатка А залежно від геометричних параметрів $d/h$ , $r/h$ і $s/h$ . Проміжні значення коефіцієнта визначають лінійною інтерполяцією	$R_{(CW)} = 5,01$
17.	Максимальні еквівалентні напруження, зумовлені дією внутрішнього (зовнішнього) тиску, МПа	$\sigma_{V(P)} = 10R_{(P)}p_R$	$\sigma_{V(P)} = 10 \cdot 19,72 \cdot 0,67 = 132,124$ МПа
18.	Осьове переміщення однієї хвилі компенсатора, м	$W$ визначають залежно від місця застосування компенсатора з урахуванням кількості хвильових елементів у компенсаторі	Для лінзового компенсатора, який приварюють на кожусі кожухотрубного теплообмінника і складається з однієї лінзи максимально можливе переміщення $W$ можна визначити як різницю в незалежних деформаціях кожуха і труб теплообмінника у робочих умовах, якби кожух і труби не були зв'язані між собою, за формулою $W = L[\alpha_K(t_K - t_M) - \alpha_{TP}(t_{TP} - t_M)],$ $W = 4[12,6 \cdot 10^{-6}(168 - 20) - 11,6 \cdot 10^{-6}(80 - 20)] = 0,0047$ м

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
19.	Максимальні еквівалентні напруження під час осьового переміщення однієї хвилі компенсатора, МПа	$\sigma_{v(w)} = 2,4 \cdot 10^{-4} \frac{R_{(w)}}{h} EW$	$\sigma_{v(w)} = 2,4 \cdot 10^{-4} \frac{153,78}{0,075} 1,84 \cdot 10^5 \cdot 4,7 \cdot 10^{-3} = 425,57 \text{ МПа}$
20.	Коефіцієнт міцності зварного шва	$\varphi$ визначають за табл. Ж.1 залежно від виду зварного шва і довжини швів, що контролюються	$\varphi = 0,9$
21.	Середні колові напруження, МПа	$\sigma_{um} = \frac{(d+h)lp_R}{4(s-c)(1,14r+h)\varphi}$	$\sigma_{um} = \frac{(0,609+0,075)0,072 \cdot 0,67}{4(0,003-0,001) \cdot (1,14 \cdot 0,017+0,075)0,9} = 48,56 \text{ МПа}$
22.	Коефіцієнт жорсткості однієї хвилі компенсатора при осьовому розтягуванні	$C_W = 0,15 \cdot 10^{-4} R_{(CW)}(d+h)E$	$C_W = 0,15 \cdot 10^{-4} \cdot 5,01(0,609+0,075)1,84 \cdot 10^5 = 9,458 \text{ МН/м}$

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
Розрахунок на міцність під час статичного навантаження внутрішнім (зовнішнім) тиском			
23.	Перевірка компенсатора на умову міцності за середнім коловим напруженням	$\sigma_{um} \leq [\sigma]$	48,56 МПа < 144 МПа Умова міцності виконується
24.	Перевірка компенсатора на умову міцності за еквівалентним напруженням від тиску	$\sigma_{V(P)} \leq 2[\sigma]$	132,124 МПа < 2 · 144 = 288 МПа Умова міцності виконується
Розрахунок компенсатора на малоциклову міцність			
25.	Коефіцієнт, що враховує обробку зварного шва	$\rho = 1,0$ для шліфованої поверхні зварного шва; $\rho = 1,1$ для необробленої поверхні зварного шва	$\rho = 1,1$
26.	Коефіцієнт, що враховує тип зварного шва	$\xi = 1,1$ для зварного шва по зовнішньому діаметру компенсатора; $\xi = 1,2$ для зварного шва по внутрішньому діаметру компенсатора	$\xi = 1,1$
27.	Ефективний коефіцієнт концентрації	$K_{\sigma} = \frac{\rho \xi}{\varphi}$	$K_{\sigma} = \frac{1,1 \cdot 1,1}{0,9} = 1,34$



№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
28.	Амплітуда максимального еквівалентного напруження від переміщення однієї хвилі, МПа	$\sigma_{AW} = \frac{K_{\sigma}}{2} \sigma_{V(W)}$	$\sigma_{AW} = \frac{1,34}{2} \cdot 425,57 = 285,13 \text{ МПа}$
29.	Амплітуда максимального еквівалентного напруження від тиску, МПа	$\sigma_{AP} = \frac{K_{\sigma}}{2} \sigma_{V(P)}$	$\sigma_{AP} = \frac{1,34}{2} \cdot 132,124 = 88,52 \text{ МПа}$
30.	Коефіцієнти запасу міцності за кількістю циклів і напруженнями	$n_N = 10,$ $n_{\sigma} = 2$	$n_N = 10,$ $n_{\sigma} = 2$
29 31.	Величина $A$ , МПа	Для вуглецевих сталей $A = 0,6 \cdot 10^5 \text{ МПа};$ для низьколегованих сталей $A = 0,45 \cdot 10^5 \text{ МПа};$ для аустенітних корозійностійких сталей $A = 0,6 \cdot 10^5 \text{ МПа}$	$A = 0,6 \cdot 10^5 \text{ МПа}$
32.	Мінімальне значення тимчасового опору (границі міцності) за температури 20 °С, МПа	$\sigma_B^{20}$ визначають за табл. Е.2, Е.4, Е.6 і Е.9 залежно від матеріалу компенсатора й розрахункової температури $t_R$	$\sigma_B^{20} = 477 \text{ МПа}$
33.	Границя плинності за температури 20 °С, МПа	$\sigma_T^{20}$ визначають за табл. Е.1, Е.3, Е.5, Е.7 і Е.8 залежно від матеріалу компенсатора й розрахункової температури $t_R$	$\sigma_T^{20} = 223 \text{ МПа}$

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку	
34.	Величина $B$ , МПа	Для вуглецевих і низьколегованих сталей $B = 1,43 \sigma_{c0} - 0,43 \sigma_T^{20}$ або $B = 0,66 \sigma_B^{20} - 0,43 \sigma_T^{20}$ ; для аустенітних корозійностійких сталей $B = \sigma_{c0}$ або 270 МПа	$B = 0,66 \sigma_B^{20} - 0,43 \sigma_T^{20} =$ $= 0,66 \cdot 477 - 0,43 \cdot 223 = 218,93$ МПа	
30	35.	Допустима амплітуда напружень $[\sigma]_{AW}$ для кількості циклів переміщень $N_W$ , МПа	$[\sigma]_{AW} = \left( \frac{2300 - t_R}{2300} \right) \frac{A}{\sqrt{n_N N_W}} + \frac{B}{n_\sigma}$	$[\sigma]_{AW} = \left( \frac{2300 - 168}{2300} \right) \frac{0,6 \cdot 10^5}{\sqrt{10 \cdot 1000}} + \frac{218,93}{2} =$ $= 665,64$ МПа
36.	Допустима амплітуда напружень $[\sigma]_{AP}$ для кількості циклів тиску $N_P$ , МПа	$[\sigma]_{AP} = \left( \frac{2300 - t_R}{2300} \right) \frac{A}{\sqrt{n_N N_P}} + \frac{B}{n_\sigma}$	$[\sigma]_{AP} = \left( \frac{2300 - 168}{2300} \right) \frac{0,6 \cdot 10^5}{\sqrt{10 \cdot 1000}} + \frac{218,93}{2} =$ $= 665,64$ МПа	
37.	Перевірка компенсатора на умову малоциклової міцності	$\sigma_{AW} + \sigma_{AP} \leq 3[\sigma],$ $\frac{\sigma_{AW}}{[\sigma]_{AW}} + \frac{\sigma_{AP}}{[\sigma]_{AP}} \leq 1.$	$\sigma_{AW} + \sigma_{AP} = 285,13 + 88,52 = 373,65$ МПа $3[\sigma] = 3 \cdot 144 = 432$ МПа $373,65$ МПа < 432 МПа $\frac{\sigma_{AW}}{[\sigma]_{AW}} + \frac{\sigma_{AP}}{[\sigma]_{AP}} = \frac{285,13}{665,64} + \frac{88,52}{665,64} = 0,561 < 1$ Умова малоциклової міцності виконується	

## **2. ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ 5-8.**

### **РОЗРАХУНОК КОЛОННОГО АПАРАТА**

#### **Література**

1. Андреев І.А. Конструювання і розрахунок типового устаткування хімічних виробництв. Основні положення. Елементи тонкостінних посудин, навантажених внутрішнім тиском. Навч. посібник. – К.: «Видавництво «Політехніка», 2011. – 272 с.
2. Андреев І.А., Зубрій О.Г., Мікуленок І.О. Застосування матеріалів у хімічному машинобудуванні. Сталі і чавуни, – К.: ІЗМН, 1999. –148 с.
3. Андреев І.А., Мікульонок І.О. Розрахунок, конструювання та надійність обладнання хімічних виробництв: Термінологічний словник. – К.: ІВЦ “Видавництво «Політехніка»”, 2002. – 216 с.
4. Миргородский В.Т., Зубрій О.Г., Кочеров В.Л. Алгоритм расчета колонных аппаратов. Киев: КПИ, 1986. – 36с.

#### **Завдання на 5 і 6 практичні заняття**

Визначити сумарний згинаючий момент, який діє на колонний апарат.

#### **Завдання на 7 практичне заняття**

Виконати розрахунок корпусу колонного апарата на міцність.

#### **Завдання на 8 практичне заняття**

Виконати розрахунок корпусу колонного апарата на стійкість.

Вихідні дані для розрахунку подано у таблиці 2.1.

Розрахунок виконати для робочих умов. Висота опорної обичайки – 1,5 м. Розрахункова температура стінки  $t_R = 80^\circ \text{C}$ . Матеріал стінки колони – Ст3. Колона розташована в м. Києві.

Алгоритм і приклад розрахунку колонного апарата наведено у методичних вказівках [4].

Таблиця 2.1. Вихідні дані до розрахунків

Варіант	$D, м$	$H, м$	$H_1, м$	$D_k, мм$	$S, мм$	$C, мм$	$G, кН$	$x_{j1}, м$	$x_{j2}, м$	$A_{j1} = A_{j2}, м$
1	2	20	1,2	2,2	12	1	300	18	12	2,5
2	2	25	1,4	2,3	14	1	340	20	14	2,5
3	2	30	1,8	2,4	16	1	360	28	22	2,5
4	2,2	25	1,4	2,4	14	1	340	20	14	2,8
5	2,2	30	1,8	2,5	16	1	360	28	22	2,8
6	2,2	35	2,0	2,6	18	2	380	30	24	2,8
7	2,5	25	1,8	2,7	20	2	360	23	17	3,2
8	2,5	30	2,0	2,8	18	2	380	28	22	3,2
9	2,5	35	2,2	2,9	20	2	400	30	24	3,2
10	2,8	30	2,0	3,0	18	2	380	26	20	3,5
11	2,8	35	2,2	3,1	20	2	400	30	24	3,5
12	2,8	40	2,5	3,2	22	3	420	40	34	3,5
13	3,0	30	2,2	3,2	20	3	400	28	22	3,8
14	3,0	40	2,5	3,3	22	3	420	38	32	3,8
15	3,0	45	2,8	3,4	24	3	440	43	37	3,8
16	3,5	35	2,8	3,8	22	3	420	33	27	4,4
17	3,5	40	3,0	3,9	24	3	440	38	32	4,4
18	3,5	38	3,0	4,0	22	4	430	33	27	4,4
19	3,5	42	3,0	3,8	26	4	450	38	32	4,5
20	3,5	45	3,0	3,9	28	4	460	43	37	4,5

### 3. ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ 9-12

#### КОНСТРУЮВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ТОВСТОСТІННИХ ПОСУДИН

##### Література.

1. Андреев І.А., Зубрій О.Г. Конструювання та розрахунок апаратів високого тиску, - К.: ІЗМН, 1999. – 144 с.

2. Андреев І.А., Зубрій О.Г., Мікуленок І.О. Застосування матеріалів у хімічному машинобудуванні. Сталі і чавуни. Навч. посібник. – К.: ІЗМН, 1999. – 148 с.

3. Андреев І.А., Мікульонок І.О. Розрахунок, конструювання та надійність обладнання хімічних виробництв: Термінологічний словник. – К.: ІВЦ “Видавництво «Політехніка»”, 2002. – 216 с.

4. Андреев І.А. Конструювання і розрахунок типового устаткування хімічних виробництв. Основні положення. Елементи тонкостінних посудин, навантажених внутрішнім тиском. Навч. посібник. – К.: «Видавництво «Політехніка», 2011. – 272 с.

Під час розрахунків на міцність належить пам'ятати таке: коли значення пробного тиску буде більше значення, що розраховується за формулою  $1,35p_R[\sigma]_{20}/[\sigma]$ , тоді належить проводити перевірку на міцність конструктивних елементів посудин і апаратів, підставляє у відповідні формули значення пробного тиску і допустимого напруження при випробуваннях. Відповідно нормативним правилам тільки литі посудини і апарати, а також деталі, що виготовлені з литва, підлягають такій перевірці.

За розрахункову температуру приймаємо найбільшу температуру стінки.

Таблиця 3.1. Вихідні дані для розрахунку товстостінних посудин

Варіант	$D$ , м	$D_1$ , м	$p$ , МПа	Матеріал корпусу	Матеріал кришки	$t_6$ , °С	$t_3$ , °С	Матеріал прокладки
1	0,6	0,62	10	22К	20	200	20	Алюміній
2	0,5	0,52	15	22К	22К	100	20	Мідь
3	0,4	0,42	20	09Г2С	20	20	100	Сталь
4	0,3	0,316	25	25Х3НМ	22Х3М	100	20	Сталь
5	0,2	0,216	30	25Х3НМ	25Х3НМ	20	100	Сталь
6	0,6	0,62	15	09Г2С	22К	100	20	Алюміній
7	0,5	0,52	10	20	20	200	20	Мідь
8	0,4	0,42	15	09Г2С	20	200	20	Сталь
9	0,3	0,316	20	09Г2С	22К	100	20	Сталь
10	0,2	0,216	25	25Х3НМ	09Г2С	20	100	Сталь
11	0,6	0,62	20	22Х3М	09Г2С	20	100	Сталь
12	0,5	0,52	25	22Х3М	22Х3М	20	100	Сталь
13	0,4	0,42	10	09Г2С	20	100	20	Алюміній
14	0,3	0,316	15	09Г2С	09Г2С	200	20	Мідь
15	0,2	0,216	20	25Х3НМ	22Х3М	100	20	Сталь
16	0,4	0,42	25	25Х3НМ	25Х3НМ	20	100	Мідь
17	0,3	0,316	30	25Х3НМ	22Х3М	100	20	Сталь
18	0,2	0,216	30	22Х3М	22Х3М	200	20	Сталь
19	0,6	0,62	18	09Г2С	20	20	100	Мідь
20	0,5	0,52	22	22Х3М	09Г2С	100	20	Сталь

### Завдання на 9 практичне заняття

Розрахувати товщину циліндричної одношарової обичайки і виконати перевірений розрахунок з урахуванням температурних напружень.

**Початкові дані для прикладу розрахунку на міцність циліндричної одношарової обичайки (табл. 3.2):**

Обичайка виготовляється із сталевого листового прокату, призначена для роботи в умовах статичних навантажень.

Матеріал обичайки – сталь 09Г2С.

Зварний шов – стиковий, виконується вручну з одного боку. Вся довжина шва контролюється.

Внутрішній діаметр обичайки  $D$ .....0,4 м.

Розрахунковий внутрішній тиск  $p$ .....30 МПа.

Розрахункова температура  $t_R$ .....100 °С.

Швидкість підвищення температури стінки посудини при виведенні на режим і під час робочого процесу не перевищує 30 °С /год

Мінімальне значення границі плинності матеріалу обичайки при при розрахунковій температурі  $\sigma_T$  .....240 МПа

Мінімальне значення границі міцності матеріалу обичайки при при розрахунковій температурі  $\sigma_B$  .....385 МПа

Додаток для компенсації корозії  $C_1$ ..... $2 \cdot 10^{-3}$  м.

Технологічний додаток  $C_3$ .....0 м.

**Початкові дані для перевірного розрахунку циліндричної обичайки з урахуванням температурних напружень (табл. 3.3):**

Обичайка виготовляється із сталевого листового прокату, призначена для роботи в умовах статичних навантажень.

Матеріал обичайки – сталь 09Г2С.

Зварний шов – стиковий, виконується вручну з одного боку. Вся довжина шва контролюється.

Внутрішній діаметр обичайки  $D$ .....0,4 м.

Виконавча товщина обичайки  $S$ .....0,05 м.

Сума додатків до розрахункової товщини  $C$ ..... $2 \cdot 10^{-3}$  м.

Розрахунковий внутрішній тиск  $p$ .....30 МПа.

Розрахункова температура в апараті  $t_B$ .....100 °С.

Зовнішня температура  $t_3$ .....20 °С.

Модуль пружності матеріалу обичайки під час розтягу при розрахунковій температурі  $E$ ..... $1,91 \cdot 10^5$  МПа.

Коефіцієнт Пуассона  $\mu$ .....0,3.

Мінімальне значення границі плинності матеріалу обичайки при розрахунковій температурі  $\sigma_T$ .....240 МПа.

Коефіцієнт термічного розширення матеріалу обичайки при розрахунковій температурі  $\alpha_t$ ..... $1,4 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ .

### Завдання на 10 практичне заняття

Розрахувати радіальне, кільцеве і осьове напруження в стінці циліндричної одношарової обичайки за формулами:

$$\sigma_r = \frac{pR^2}{R_3^2 - R^2} \left( 1 - \frac{R_3^2}{r^2} \right),$$

$$\sigma_t = \frac{pR^2}{R_3^2 - R^2} \left( 1 + \frac{R_3^2}{r^2} \right),$$

$$\sigma_N = \frac{pR^2}{R_3^2 - R^2}$$

і побудувати епюри змінювання цих напружень по товщині стінки.



Таблиця 3.2. Алгоритм і приклад розрахунку на міцність циліндричної одношарової обичайки

№№ п/п	Розрахункова величина	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
1	Границя плинності за розрахункової температури	Границю плинності за розрахункової температури $R_0$ визначають за таблицею Е.1 залежно від марки сталі, з якої виконана обичайка і розрахункової температури	З таблиці А.5 для сталі марки 09Г2С за розрахункової температури $t = 100$ °С $R_0 = 240$ МПа
2	Мінімальне значення тимчасового опору (границі міцності) за розрахункової температури	Мінімальне значення тимчасового опору (границі міцності) за розрахункової температури $R_e$ визначають за таблицею Е.2 залежно від марки сталі, з якої виконана обичайка і розрахункової температури	З таблиці А.6 для сталі марки 09Г2С за розрахункової температури $t = 100$ °С $R_e = 385$ МПа
3	Коефіцієнти запасу міцності	Коефіцієнт запасу міцності за границею міцності $n_b$ і коефіцієнт запасу міцності за границею плинності $n_t$ . Для робочих умов $n_T = 1,5$ ; $n_e = 2,4$ . Для умов випробувань $n_T = 1,1$ .	$n_T = 1,5$ ; $n_e = 2,4$
4	Коефіцієнт міцності зварного шва	$\phi$ визначається за табл. Ж.1 залежно від виду зварного шва та довжини швів, що контролюються	Для стикового шва, який виконується вручну з одного боку (довжина швів, що контролюються, становить 100 % від загальної довжини) $\phi = 0,9$
5	Допустиме напруження матеріалу обичайки при розрахунковій температурі	$[\sigma] = \min \left\{ \frac{R_T}{n_T}; \frac{R_a}{n_a} \right\}$	$[\sigma] = \min \left\{ \frac{240}{1,5}; \frac{385}{2,4} \right\} = \min \{ 160; 160,4 \} = 160 \text{ МПа}$
6	Розрахунковий коефіцієнт товстостійності	$\beta_R = e^{\frac{p}{[\sigma]\phi}}$	$\beta_R = e^{\frac{30}{160 \cdot 0,9}} = 1,232$
7	Товщина стінки обичайки у першому наближенні	$S' = 0,5D(\beta_R - 1) + C_1 + C_0,$ де $C_0$ – додаток на округлення до стандартної товщини листа	$S' = 0,5 \cdot 0,4 \cdot (1,232 - 1) + 2 \cdot 10^{-3} + 1,6 \cdot 10^{-3} = 0,05 \text{ м}$

№№ п/п	Розрахункова величина	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
8	Відношення суми додатків $C_2$ і $C_3$ до номінальної товщини листа	$\frac{C_2 + C_3}{S'}$	$\frac{1,2 \cdot 10^{-3} + 0}{0,05} = 0,024$
9	Сума додатків до розрахункової товщини	де додаток $C_2$ визначається за табл. 3.1 додатка 3 $C = \begin{cases} C_1, & \text{якщо } \frac{C_2 + C_3}{S'} \leq 0,05; \\ C_1 + C_2 + C_3, & \text{якщо } \frac{C_2 + C_3}{S'} > 0,05. \end{cases}$	$C = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$
10	Виконавча товщина обичайки	$S = 0,5D(\beta_R - 1) + C + C_0$	$S = 0,5 \cdot 0,4(1,232 - 1) + 2 \cdot 10^{-3} + 1,6 \cdot 10^{-3} = 0,05 \text{ м}$
11	Коефіцієнт товстостіності	$\beta = \frac{D + 2(S - C)}{D}$	$\beta = \frac{0,4 + 2(0,05 - 0,002)}{0,4} = 1,24$
12	Допустимий тиск	$[p] = [\sigma] \varphi \ln \beta$	$[p] = 160 \cdot 0,9 \cdot \ln 1,24 = 30,97 \text{ МПа}$
13	Перевірка умови застосування розрахункових формул	$\frac{S - C}{D} \leq 0,4$	$\frac{0,05 - 0,002}{0,4} = 0,115 < 0,4$ Умова застосування розрахункових формул виконується

Таблиця 3.3. Алгоритм і приклад перевірного розрахунку циліндричної обичайки з урахуванням температурних напружень

№№ п/п	Розрахункова величина	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
1	Коефіцієнт товстостінності	$\beta = \frac{D + 2(S - C)}{D}$	$\beta = \frac{0,4 + 2(0,05 - 0,002)}{0,4} = 1,24$
2	Перепад температур	$\Delta t = t_6 - t_3$	$\Delta t = 100 - 20 = 80 \text{ } ^\circ\text{C} > 0$
3	Коефіцієнти $K_1$ і $K_2$	$K_1 = \frac{\alpha_t E}{1 - \mu} \left( \frac{\beta^2 - 1}{2 \ln \beta} - 1 \right)$ – розраховується, якщо $\Delta t > 0$ $K_2 = \frac{\alpha_t E}{1 - \mu} \left( \frac{\beta^2 - 1}{2\beta^2 \ln \beta} - 1 \right)$ – розраховується, якщо $\Delta t < 0$	$K_1 = \frac{1,4 \cdot 10^{-5} \cdot 1,91 \cdot 10^5}{1 - 0,3} \left( \frac{1,24^2 - 1}{2 \ln 1,24} - 1 \right) = 0,95$ –
4	Еквівалентне напруження	$\sigma_{екв} = \frac{1}{\beta^2 - 1} \sqrt{3p^2 + 3pK_1\Delta t + K_1^2\Delta t^2},$ якщо $\Delta t > 0;$ $\sigma_{екв} = \frac{\beta^2}{\beta^2 - 1} \sqrt{3p^2 + 3pK_2\Delta t + K_2^2\Delta t^2},$ якщо $\Delta t < 0.$	$\sigma_{екв} = \frac{1}{1,24^2 - 1} \sqrt{3 \cdot 30^2 + 3 \cdot 30 \cdot 0,95 \times \dots} \rightarrow =$ $\leftarrow \dots \times 80 + 0,95^2 80^2 = 230,2 \text{ МПа}$ –
5	Умова міцності	$\sigma_{екв} \leq \frac{\sigma_T}{1,1}$	$\sigma_{екв} = 230,2 \text{ МПа}$ $\frac{\sigma_T}{1,1} = \frac{240}{1,1} = 218,2 \text{ МПа}$ Умова міцності не виконується

	Треба збільшити товщину стінки обичайки або замінити матеріал і зробити перерахунок.	Для наведеного прикладу приймаємо товщину	обичайки на такий, що має більший $E$ стінки обичайки $S=0,06$ м і продовжемо розрахунок
6	Коефіцієнт товстостінності	$\beta = \frac{D + 2(S - C)}{D}$	$\beta = \frac{0,4 + 2(0,06 - 0,002)}{0,4} = 1,29$
7	Коефіцієнт $K_1$	$K_1 = \frac{\alpha_t E}{1 - \mu} \left( \frac{\beta^2 - 1}{2 \ln \beta} - 1 \right)$	$K_1 = \frac{1,4 \cdot 10^{-5} \cdot 1,91 \cdot 10^5}{1 - 0,3} \left( \frac{1,29^2 - 1}{2 \ln 1,29} - 1 \right) = 1,16$
8	Еквівалентне напруження	$\sigma_{екв} = \frac{1}{\beta^2 - 1} \sqrt{3p^2 + 3pK_1 \Delta t + K_1^2 \Delta t^2}$	$\sigma_{екв} = \frac{1}{1,29^2 - 1} \sqrt{3 \cdot 30^2 + 3 \cdot 30 \cdot 1,16 \cdot 80 + \dots} \rightarrow =$ $\leftarrow \dots + 1,16^2 \cdot 80^2 = 211,2 \text{ МПа}$
9	Умова міцності	$\sigma_{екв} \leq \frac{\sigma_T}{1,1}$	$\sigma_{екв} = 211,2 \text{ МПа}$ $\frac{\sigma_T}{1,1} = \frac{240}{1,1} = 218,2 \text{ МПа}$ $211,2 \text{ МПа} < 218,2 \text{ МПа}$ Умова міцності виконується

### **Завдання на 11 практичне заняття**

Розрахувати і порівняти затвори апаратів високого тиску.

Алгоритми і приклади розрахунків наведені у таблицях 3.4 – 3.8.

#### **Початкові дані для прикладу розрахунку затвора з плоскою металевою прокладкою (табл. 3.4):**

Корпус і кришка – ковані.

Матеріал корпусу – сталь 09Г2С.

Матеріал кришки – сталь 20.

Матеріал прокладки – алюміній.

Внутрішній діаметр корпусу  $D$ .....0,4 м.

Внутрішній діаметр ущільнення  $D_1$  .....0,42 м.

Розрахунковий внутрішній тиск  $p$ .....30 МПа.

Мінімальне значення границі плинності матеріалу корпусу при розрахунковій температурі  $\sigma_{т.корп.}$  .....240 МПа.

Мінімальне значення границі плинності матеріалу кришки при розрахунковій температурі  $\sigma_{т.кр.}$  .....213 МПа.

Допустиме напруження матеріалу корпусу при розрахунковій температурі  $[\sigma]$ .....160 МПа.

#### **Початкові дані для прикладу розрахунку затвора з двоконусним кільцем (табл. 3.5):**

Корпус і кришка – ковані.

Матеріал двоконусного кільця – сталь 22Х3М.

Внутрішній діаметр корпусу  $D$ .....0,4 м.

Розрахунковий внутрішній тиск  $p$ .....30 МПа.

Кут нахилу ущільнювальної поверхні корпусу або кришки посудини до вертикалі  $\gamma$ .....30 °.

**Початкові дані для прикладу розрахунку затвора з кільцем трикутного перерізу (табл. 3.6):**

Корпус і кришка – ковані.

Матеріал кільця – сталь 22Х3М.

Внутрішній діаметр корпусу  $D$ .....0,4 м.

Розрахунковий внутрішній тиск  $p$ .....30 МПа.

**Початкові дані для розрахунку затвора з трапеціодальною прокладкою (табл. 3.7):**

Корпус і кришка – ковані.

Матеріал ущільнювального кільця – алюміній.

Внутрішній діаметр корпусу  $D$ .....0,4 м.

Розрахунковий діаметр ущільнювальної поверхні  $D_R$ .....0,42 м.

Розрахунковий внутрішній тиск  $p$ .....30 МПа.

**Початкові дані для розрахунку затвора з клиновим ущільненням (табл. 3.8):**

Корпус і кришка – ковані.

Розрахунковий діаметр ущільнювальної поверхні (діаметр дотику)

$D_R$ .....0,42 м.

Розрахунковий внутрішній тиск  $p$ .....30 МПа.

Кут тертя (корпус і кришка – сталеві)  $\rho$ .....8 °.

Кут нахилу ущільнювальної поверхні корпусу до вертикалі  $\gamma$ .....11° 30'.

Таблиця 3.4. Алгоритм і приклад розрахунку затвора з плоскою металевою прокладкою

№№ п/п	Розрахункова величина	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
1	Мінімальне значення границі плинності матеріалу поверхні, що ущільнюється, при розрахунковій температурі	$\sigma_{T,k} = \min\{\sigma_{T,корп.}; \sigma_{T,кр.}\}$	$\sigma_{T,k} = \min\{240; 213\} = 213 \text{ МПа}$
2	Допустиме контактне напруження на ущільнювальних поверхнях при розрахунковій температурі	$[\sigma]_k = 0,36\sigma_{T,k} + 180 \text{ МПа}$ Для пробного тиску замість $\sigma_{T,k}$ підставляють $\sigma_{T,k}^{20}$	$[\sigma]_k = 0,36 \cdot 213 + 180 = 256 \text{ МПа}$
3	Герметизуюче напруження зім'якшення прокладки для розрахункового тиску	$\sigma_n = \begin{cases} 70 \text{ МПа} - \text{для алюмінію}; \\ 100 \text{ МПа} - \text{для міді}; \\ 180 \text{ МПа} - \text{для сталі з } \sigma_{T,n}^{20} \leq 230 \text{ МПа} \end{cases}$ Для пробного тиску $\sigma_n$ приймається удвічі меншим герметизуючого напруження зім'якшення прокладки для розрахункового тиску	$\sigma_n = 70 \text{ МПа}$
4	Ширина плоскої прокладки	$b \geq \frac{0,25 p D_1}{[\sigma]_k - \sigma_n - 0,25 p}$	$b \geq \frac{0,25 \cdot 30 \cdot 0,42}{256 - 70 - 0,25 \cdot 30} = 0,018 \text{ м}$ Приймаємо $b = 0,02 \text{ м}$

№№ п/п	Розрахункова величина	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
5	Розрахунковий діаметр ущільнювальної поверхні	$D_R = D_1 + b$	$D_R = 0,42 + 0,02 = 0,44 \text{ м}$
6	Осьове навантаження від дії тиску середовища на кришку	$F_Q = \frac{\pi D_R^2}{4} p$	$F_Q = \frac{3,14 \cdot 0,44^2}{4} 30 = 4,56 \text{ МН}$
7	Осьова реакція прокладки	$F_P = \pi D_R b \sigma_n$	$F_P = 3,14 \cdot 0,44 \cdot 0,02 \cdot 70 = 1,94 \text{ МН}$
8	Розрахункове зусилля, що діє на шпильки	$F = F_Q + F_P$	$F = 4,56 + 1,94 = 6,5 \text{ МН}$
9	Товщина прокладки	$S_{np} = \begin{cases} 0,005 \text{ м} & \text{для } 0,4 \text{ м} \leq D_1 \leq 0,5 \text{ м}; \\ 0,004 \text{ м} & \text{для } D_1 > 0,5 \text{ м} \end{cases}$	$S_{np} = 0,005 \text{ м}$

44

Таблиця 3.5. Алгоритм і приклад розрахунку затвора з двоконусним кільцем

№№ п/п	Розрахункова величина	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
1	Розрахунковий тиск з урахуванням впливу попереднього затягання при визначенні розрахункового зусилля	$p_F = \max\{p; 40 \text{ МПа}\}$	$p_F = \max\{30; 40\} = 40 \text{ МПа}$
2	Основні розміри ущільнення	$h_1$ і $h_2$ визначаються за табл. І.1 додатка І залежно від внутрішнього діаметра корпусу	$h_1 = 0,045 \text{ м}; \quad h_2 = 0,022 \text{ м}$



№№ п/п	Розрахункова величина	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
3	Розрахунковий діаметр ущільнювальної поверхні	$D_R = D + \frac{h_1 - h_2}{2} \operatorname{tg} \gamma$	$D_R = 0,4 + \frac{0,045 - 0,022}{2} \operatorname{tg} 30^\circ = 0,407 \text{ м}$
4	Висота кільця по середній лінії ущільнювальної поверхні	$h_R = \frac{h_1 + h_2}{2}$	$h_R = \frac{0,045 + 0,022}{2} = 0,0335 \text{ м}$
5	Осьове навантаження від дії тиску середовища на кришку	$F_Q = \frac{\pi D_R^2}{4} p$	$F_Q = \frac{3,14 \cdot 0,407^2}{4} 30 = 3,9 \text{ МН}$
6	Осьова реакція ущільнювального кільця	$F_P = 0,5 \pi p_F D_R h_R \operatorname{tg} \gamma$	$F_P = 0,5 \cdot 3,14 \cdot 40 \cdot 0,407 \cdot 0,0335 \cdot \operatorname{tg} 30^\circ = 0,5 \text{ МН}$
7	Розрахункове зусилля, що діє на шпильки	$F = F_Q + F_P$	$F = 3,9 + 0,5 = 4,4 \text{ МН}$

45

Таблиця 3.6. Алгоритм і приклад розрахунку затвора з кільцем трикутного перерізу

№№ п/п	Розрахункова величина	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
1	Геометричні розміри ущільнювального кільця	$D_R, h_o, \gamma$ визначаються за табл. I.2 додатка I залежно від внутрішнього діаметра корпусу	$D_R = 0,432 \text{ м}; \quad h_o = 0,016 \text{ м}; \quad \gamma = 47^\circ$
2	Осьова реакція ущільнювального кільця	$F_P = 0,5 \pi D_R h_o p \operatorname{tg} \gamma$	$F_P = 0,5 \cdot 3,14 \cdot 0,432 \cdot 0,016 \cdot 30 \cdot \operatorname{tg} 47^\circ = 0,35 \text{ МН}$

Продовження табл.3.6

3	Осьове навантаження від дії тиску середовища на кришку	$F_Q = \frac{\pi D_R^2}{4} p$	$F_Q = \frac{3,14 \cdot 0,432^2}{4} 30 = 4,4 \text{ МН}$
4	Розрахункове зусилля, що діє на шпильки	$F = F_Q + F_P$	$F = 4,4 + 0,35 = 4,75 \text{ МН}$

Таблиця 3.7. Алгоритм і приклад розрахунку затвора з трапецоїдальною прокладкою

№№ п/п	Розрахункова величина	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
46	1 Розміри трапецоїдальної прокладки	$b, h_o, \gamma_1$ визначаються за табл. І.3 додатка І залежно від внутрішнього діаметра корпусу	$b \geq 0,006 \text{ м};$ приймаємо $b = 0,008 \text{ м};$ $h_o = 0,01 \text{ м}; \quad \gamma_1 = 45^\circ$
2	Прокладочний коефіцієнт	$m = \begin{cases} 2,75 - \text{для міді}; \\ 4 - \text{для алюмінію}; \\ 6 - \text{для сталі} \end{cases}$	$m = 4$
3	Кут тертя	$\rho = \begin{cases} 15^\circ - \text{для сталі по алюмінію}; \\ 12^\circ - \text{для сталі по міді}; \\ 8^\circ - \text{для сталі по сталі} \end{cases}$	$\rho = 15^\circ$

№№ п/п	Розрахункова величина	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
4	Осьова реакція прокладки	$F_P = \frac{m p \pi D_R h_o \sin(\gamma_1 + 2\rho)}{\cos \rho \cos(\gamma_1 + \rho)}$	$F_P = \frac{4 \cdot 30 \cdot 3,14 \cdot 0,42 \cdot 0,01 \sin(45^\circ + 2 \cdot 15^\circ)}{\cos 15^\circ \cos(45^\circ + 15^\circ)} =$ $= 3,17 \text{ МН}$
5	Осьове навантаження від дії тиску середовища на кришку	$F_Q = \frac{\pi D_R^2}{4} p$	$F_Q = \frac{3,14 \cdot 0,42^2}{4} 30 = 4,16 \text{ МН}$
6	Розрахункове зусилля герметизації	$F = F_P + F_Q$	$F = 3,17 + 4,16 = 7,33 \text{ МН}$

47

Таблиця 3.8. Алгоритм і приклад розрахунку затвора з клиновим ущільненням

№№ п/п	Розрахункова величина	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
1	Досвідний коефіцієнт x	$x = \begin{cases} 1,1 & \text{для } \gamma = 5^\circ 30'; \\ 1,5 & \text{для } \gamma = 11^\circ 30' \end{cases}$	$x = 1,5$
2	Монтажне зусилля затягання шпильок	$F_{u1} = 1,25 p \frac{\pi D_R^2}{4} x \frac{\sin(\gamma + \rho)}{\cos \rho}$	$F_{u1} = 1,25 \cdot 30 \frac{3,14 \cdot 0,42^2}{4} 1,5 \frac{\sin(11,5^\circ + 8^\circ)}{\cos 8^\circ} =$ $= 2,63 \text{ МН}$

№№ п/п	Розрахункова величина	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
3	Осьове навантаження від дії тиску середовища на кришку	$F_Q = \frac{\pi D_R^2}{4} p$	$F_Q = \frac{3,14 \cdot 0,42^2}{4} 30 = 4,16 \text{ МН}$
4	Досвідний коефіцієнт $C_x$	$C_x = \begin{cases} 0,25 & \text{для } \gamma = 5^\circ 30'; \\ 0,4 & \text{для } \gamma = 11^\circ 30' \end{cases}$	$C_x = 0,4$
5	Зусилля герметизації на шпильки у робочих умовах	$F_{u2} = F_Q + C_x F_{u1}$	$F_{u2} = 4,16 + 0,4 \cdot 2,63 = 5,21 \text{ МН}$
6	Розрахункове зусилля герметизації	$F = \max\{F_{u1}; F_{u2}\}$	$F = \max\{2,63; 5,21\} = 5,21 \text{ МН}$

## Завдання на 12 практичне заняття

Розрахувати і порівняти днища апаратів високого тиску.

Алгоритми і приклади розрахунків наведені у таблицях 3.9 – 3.11.

### Початкові дані для розрахунку на міцність плоского днища з конічним переходом (табл. 3.9).

Днище коване, призначене для роботи в умовах статичних навантажень, має одиночний центральний отвір.

Матеріал днища – сталь 20.

Внутрішній діаметр обичайки  $D$  ..... 0,4 м.

Товщина циліндричної обичайки  $S$  ..... 0,05 м.

Розрахунковий внутрішній тиск  $p$  ..... 30 МПа.

Розрахункова температура  $t_R$  ..... 100 °С.

Допустиме напруження матеріалу днища в робочих умовах при розрахунковій температурі  $[\sigma]$  ..... 125 МПа.

Додаток до розрахункової товщини днища  $C$  .....  $2 \cdot 10^{-3}$  м.

Діаметр центрального отвору  $d_1$  ..... 0,08 м.

### Початкові дані для розрахунку на міцність плоского днища з проточкою (табл. 3.10).

Днище коване, призначене для роботи в умовах статичних навантажень, має одиночний центральний отвір.

Матеріал днища – сталь 09Г2С.

Внутрішній діаметр обичайки  $D$  ..... 0,6 м.

Товщина циліндричної обичайки  $S$  ..... 0,08 м.

Розрахунковий внутрішній тиск  $p$  ..... 30 МПа.

Розрахункова температура  $t_R$  ..... 100 °С.

Допустиме напруження матеріалу днища в робочих умовах при розрахунковій температурі  $[\sigma]$  ..... 160 МПа.

Додаток до розрахункової товщини днища  $C$  .....  $2 \cdot 10^{-3}$  м.

Діаметр центрального отвору $d_1$ .....	0,08 м.
Радіус закруглення $r_3$ .....	0,04 м.
Внутрішній діаметр проточки $D_o$ .....	0,44 м.

**Початкові дані для розрахунку на міцність еліптичного днища (табл.. 3.11).**

Днище коване, призначене для роботи в умовах статичних навантажень, має одиночний центральний отвір.

Матеріал днища – сталь 09Г2С.

Внутрішній діаметр обичайки  $D$  ..... 0,6 м.

Розрахунковий внутрішній тиск  $p$ ..... 30 МПа.

Розрахункова температура  $t_R$  ..... 100 °С.

Допустиме напруження матеріалу днища в робочих умовах при розрахунковій температурі  $[\sigma]$  ..... 160 МПа.

Додаток до розрахункової товщини днища  $C$ .....  $2 \cdot 10^{-3}$  м.

Діаметр центрального отвору  $d_1$ ..... 0,08 м.

Внутрішня висота еліптичної частини днища  $H$  ..... 0,15 м.

Довжина циліндричної відбортованої частини  $h$ ..... 0,1 м.

Кут між нормаллю до внутрішньої поверхні на краю днища і віссю апарата  $\theta$  ..... 90 °.

Таблиця 3.9. Алгоритм розрахунку на міцність плоских днищ з конічним і радіусним переходами і приклад розрахунку на міцність плоского днища з конічним переходом

№№ п/п	Розрахункова величина	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
1	Розрахунковий діаметр	$D_n = D - 1,3S$ – для днищ з конічним переходом; $D_n = D - r_3$ – для днищ з радіусним переходом.	$D_n = 0,4 - 1,3 \cdot 0,05 = 0,335 \text{ м}$ –
2	Коефіцієнт ослаблення днища	$K_o = \sqrt{1 + \frac{d_1}{D_n} + \left(\frac{d_1}{D_n}\right)^2}$ – – для одиночного центрального отвору; $K_o = \sqrt{\frac{1 - \sum_{i=1}^n \left(\frac{d_i}{D_n}\right)^3}{1 - \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{D_n}}}$ – – для декількох неукріплених отворів.	$K_o = \sqrt{1 + \frac{0,08}{0,335} + \left(\frac{0,08}{0,335}\right)^2} = 1,138$

№№ п/п	Розрахункова величина	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
3	Товщина днища	<p>У випадку некрізного отвору підставляють значення розрахункового діаметра <math>d_{3R}</math>, який визначається з урахуванням глибини отвору :</p> $d_{3R} = \min \left\{ d_3 \frac{2l_i}{S_1} ; d_3 \right\}$ $S_1 = 0,45K_o D_n \sqrt{p/[\sigma]} + C$	$S_1 = 0,45 \cdot 1,138 \cdot 0,335 \sqrt{30/125} + 2 \cdot 10^{-3} =$ $= 0,086 \text{ м}$ <p>Приймаємо <math>S_1 = 0,09 \text{ м}</math></p>
4	Допустимий тиск	$[p] = \left( \frac{S_1 - C}{0,45K_o D_n} \right)^2 [\sigma]$	$[p] = \left( \frac{0,09 - 0,002}{0,45 \cdot 1,138 \cdot 0,335} \right)^2 125 = 32,89 \text{ МПа}$
5	Перевірка умови застосування розрахункових формул	$\frac{S_1 - C}{D} \leq 0,35$	$\frac{0,09 - 0,002}{0,4} = 0,22 < 0,35$ <p>Умова застосування розрахункових формул виконується</p>



Таблиця 3.10. Алгоритм і приклад розрахунку на міцність плоского днища з проточною

№№ п/п	Розрахункова величина	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
1	Розрахунковий діаметр	$D_n = D - r_3$	$D_n = 0,6 - 0,04 = 0,56 \text{ м}$
2	Коефіцієнт ослаблення днища	$K_o = \sqrt{1 + \frac{d_1}{D_n} + \left(\frac{d_1}{D_n}\right)^2} -$ <p>– для одиночного центрального отвору;</p> $K_o = \sqrt{\frac{1 - \sum_{i=1}^n \left(\frac{d_i}{D_n}\right)^3}{1 - \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{D_n}}} -$ <p>– для декількох неукріплених отворів.</p> <p>У випадку некрізного отвору підставляють значення розрахункового діаметра <math>d_{3R}</math>, який визначається з урахуванням глибини отвору :</p> $d_{3R} = \min \left\{ d_3 \frac{2l_i}{S_1}; d_3 \right\}$	$K_o = \sqrt{1 + \frac{0,08}{0,56} + \left(\frac{0,08}{0,56}\right)^2} = 1,08$ <p style="text-align: center;">–</p>
3	Товщина днища у першому наближенні	$S'_1 = 0,38 K_o D \sqrt{p/[\sigma]} + C$	$S'_1 = 0,38 \cdot 1,08 \cdot 0,6 \sqrt{30/160} + 2 \cdot 10^{-3} = 0,109 \text{ м}$
4	Відношення розрахункової товщини днища до розрахункової товщини циліндричної обичайки	$\frac{S - C}{S'_1 - C}$	$\frac{0,08 - 0,002}{0,109 - 0,002} = 0,73$

№№ п/п	Розрахункова величина	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
5	Коефіцієнт міцності днища	$K = \begin{cases} 0,41, & \text{якщо } \frac{S - C}{S'_1 - C} < 0,5; \\ 0,38, & \text{якщо } \frac{S - C}{S'_1 - C} \geq 0,5. \end{cases}$	$K = 0,38$
6	Виконавча товщина днища	$S_1 = KK_o D \sqrt{p/[\sigma]} + C$	$S_1 = 0,38 \cdot 1,08 \cdot 0,6 \sqrt{30/160} + 2 \cdot 10^{-3} = 0,109 \text{ м}$ Приймаємо $S_1 = 0,112 \text{ м}$
7	Допустимий тиск	$[p] = \left( \frac{S_1 - C}{KK_o D} \right)^2 [\sigma]$	$[p] = \left( \frac{0,112 - 0,002}{0,38 \cdot 1,08 \cdot 0,6} \right)^2 160 = 31,9 \text{ МПа}$
8	Перевірка умови застосування розрахункових формул	$\frac{r_3}{S_1} \geq 0,25$	$\frac{0,04}{0,112} = 0,357 \geq 0,25$ Умова застосування розрахункових формул виконується
9	Мінімальна товщина днища в зоні проточки	$\max \left\{ (S_1 - C) \sqrt{3 \frac{D - D_o}{D}}; 0,5D \frac{p}{[\sigma]} \right\} \leq S_2 \leq S_1 - r_3$	$\max \left\{ (0,112 - 0,002) \sqrt{3 \frac{0,6 - 0,44}{0,6}}; 0,5 \cdot 0,6 \frac{30}{160} \right\} \leq S_2 \leq 0,112 - 0,04$ $\max \{0,099; 0,057\} \leq S_2 \leq 0,108$ $0,099 \text{ м} \leq S_2 \leq 0,108 \text{ м}$ Приймаємо $S_2 = 0,105 \text{ м}$

Таблиця 3.11. Алгоритм розрахунку на міцність випуклих днищ і приклад розрахунку еліптичного днища

№№ п/п	Розрахункова величина	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
1	Розрахунковий радіус кривизни днища	$R_{\delta} = \frac{D^2}{4H}$	$R_{\delta} = \frac{0,6^2}{4 \cdot 0,15} = 0,6 \text{ м}$
2	Товщина днища у першому наближенні	$S_1' = \frac{pR_{\delta}}{2[\sigma]\phi - 0,5p} + C$	$S_1' = \frac{30 \cdot 0,6}{2 \cdot 160 \cdot 1 - 0,5 \cdot 30} + 0,002 = 0,061 \text{ м}$
3	Порівняння довжини циліндричної відбортованої частини $h$ з величиною $0,3\sqrt{D(S_1' - C)}$	Величину $h$ порівняти з $0,3\sqrt{D(S_1' - C)}$	$0,3\sqrt{D(S_1' - C)} = 0,3\sqrt{0,6(0,061 - 0,002)} = 0,056 \text{ м}$ $h = 0,1 \text{ м} < 0,056 \text{ м}$
4	Виконавча товщина днища	$S_1 = \frac{pR_{\delta}}{2[\sigma]\phi - 0,5p} + C, \text{ якщо } h \leq 0,3\sqrt{D(S_1' - C)};$ $S_1 = 0,5D(\beta_R - 1) + C, \text{ якщо } h > 0,3\sqrt{D(S_1' - C)}.$	$S_1 = \frac{30 \cdot 0,6}{2 \cdot 160 \cdot 1 - 0,5 \cdot 30} + 0,002 = 0,061 \text{ м}$ Приймаємо $S_1 = 0,065 \text{ м}$
5	Допустимий тиск	$[p] = \frac{2(S_1 - C)[\sigma]\phi}{R_{\delta} + 0,5(S_1 - C)}$	$[p] = \frac{2(0,065 - 0,002)160 \cdot 1}{0,6 + 0,5(0,065 - 0,002)} = 31,9 \text{ МПа}$
6	Відстань від краю отвору до внутрішньої циліндричної поверхні	$t_1 = \frac{D - d_1}{2} - \text{для центрального отвору}$	$t_1 = \frac{0,6 - 0,08}{2} = 0,26 \text{ м}$
7	Перевірка умов застосування розрахункових формул	$\frac{H}{D} \geq 0,2$	$\frac{H}{D} = \frac{0,15}{0,6} = 0,25 > 0,2$

55

№№ п/п	Розрахункова величина	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
		$\frac{S_1 - C}{D} \leq 0,15$ $t_1 \geq 0,1D$ $\theta \geq 75^\circ$	$\frac{S_1 - C}{D} = \frac{0,065 - 0,002}{0,6} = 0,105 < 0,15$ $t_1 = 0,26 \text{ м}$ $0,1D = 0,1 \cdot 0,6 = 0,06 \text{ м}$ $\left. \begin{array}{l} t_1 = 0,26 \text{ м} \\ 0,1D = 0,1 \cdot 0,6 = 0,06 \text{ м} \end{array} \right\} 0,26 > 0,06$ $\theta = 90^\circ > 75^\circ$ <p>Умови застосування формул виконуються</p>

## Додаток А. Модуль пружності під час розтягу

Таблиця А.1. Значення модуля пружності під час розтягу за ГОСТ 14249-89

Сталь	Модуль пружності під час розтягу $E \cdot 10^{-5}$ , МПа, при температурі, °С													
	20	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700
Вуглецеві й низьколеговані сталі	1,99	1,91	1,86	1,81	1,76	1,71	1,64	1,55	1,40	–	–	–	–	–
Теплостійкі й корозієстійкі хромисті сталі	2,15	2,15	2,05	1,98	1,95	1,90	1,84	1,78	1,71	1,63	1,54	1,40	–	–
Жароміцні, жаростійкі й корозієстійкі аустенітні сталі	2,00	2,00	1,99	1,97	1,94	1,90	1,85	1,80	1,74	1,67	1,60	1,52	1,43	1,32

## Додаток Б. Коефіцієнт лінійного розширення

Таблиця Б.1. Значення коефіцієнта лінійного розширення за ГОСТ 14249-89

Марка сталі	Розрахункове значення коефіцієнта $\alpha \cdot 10^6$ , 1/°С, за температурі, °С				
	20–100	20–200	20–300	20–400	20–500
Ст3, 20, 20К	11,6	12,6	13,1	13,6	14,1
09Г2С, 16ГС, 17ГС, 17Г1С, 10Г2С1, 10Г2	13,0	14,0	15,3	16,1	16,2
12ХМ, 12МХ, 15ХМ, 15Х5М, 15Х5М–У	11,9	12,6	13,2	13,7	14,0
08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т	9,6	13,8	16,0	16,0	16,5
12Х18Н10Т, 12Х18Н12Т, 03Х17Н14М3, 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т, 08Х18Н10Т, 08Х18Н12Т, 03Х18Н11, 08Х17Н13М2Т, 08Х17Н15М3Т	16,6	17,0	18,0	18,0	18,0
03Х21Н21М4ГБ	14,9	15,7	16,6	17,3	17,5
06ХН28МДТ, 03ХН18МДТ	15,3	15,9	16,5	16,9	17,3
08Х18Г8Н2Т	12,3	13,1	14,4	14,4	15,3

## Додаток В. Допустимі напруження

*Таблиця В.1. Допустимі напруження для вуглецевих і низьколегованих сталей за ГОСТ 14249-89*

Розрахункова температура стінки посудини або апарата	Допустиме напруження $[\sigma]$ , МПа, для сталей марок							
	Ст3		09Г2С, 16ГС		20, 20К	10	10Г2, 09Г2	17ГС, 17Г1С, 10Г2С1
	Товщина, мм							
	До 20	Понад 20	До 32	Понад 32	До 160			
20	154	140	196	183	147	130	180	183
100	149	134	177	160	142	125	160	160
150	145	131	171	154	139	122	154	154
200	142	126	165	148	136	118	148	148
250	131	120	162	145	132	112	145	145
300	115	108	151	134	119	100	134	134
350	105	98	140	123	106	88	123	123
375	93	93	133	116	98	82	108	116
400	85	85	122	105	92	77	92	105
410	81	81	104	104	86	75	86	104
420	75	75	92	92	80	72	80	92
430	71*	71*	86	86	75	68	75	86
440	–	–	78	78	67	60	67	78
450	–	–	71	71	61	53	61	71
460	–	–	64	64	55	47	55	64
470	–	–	56	56	49	42	49	56
480	–	–	53	53	46*	37	46**	53

\*Для розрахункової температури стінки 425 °С.

\*\* Для розрахункової температури стінки 475 °С.

*Примітки.* 1. Якщо розрахункові температури нижчі від 20 °С, допустимі напруження беруть такими самими, як і за температури 20 °С для допустимого застосування матеріалу за цієї температури.

2. Для проміжних розрахункових температур стінки допустиме напруження визначають лінійною інтерполяцією з округленням результатів до 0,5 МПа у бік меншого значення.

3. Для сталі марки 20, якщо  $\sigma_T^{20} < 220$  МПа допустимі напруження, що зазначені в таблиці, домножують на відношення  $\sigma_T^{20} / 220$ .

4. Для сталі марки 10Г2, якщо  $\sigma_T^{20} < 270$  МПа допустимі напруження, що зазначені в таблиці, домножують на відношення  $\sigma_T^{20} / 270$ .

Таблиця В.2. Допустимі напруження для теплотривких хромистих сталей за ГОСТ 14249-89

Розрахункова температура стінки посудини або апарата, °С	Допустиме напруження $[\sigma]$ , МПа, для сталей марок				
	12ХМ	12МХ	15ХМ	15Х5М	15Х5М-У
20	147	147	155	146	240
100	146,5	146,5	153	141	235
150	146	146	152,5	138	230
200	145	145	152	134	225
250	145	145	152	127	220
300	141	141	147	120	210
350	137	137	142	114	200
375	135	135	140	110	180
400	132	132	137	105	170
410	130	130	136	103	160
420	129	129	135	101	150
430	127	127	134	99	140
440	126	126	132	96	135
450	124	124	131	94	130
460	122	122	127	91	126
470	117	117	122	89	122
480	114	114	117	86	118
490	105	105	107	83	114
500	96	96	99	79	108
510	82	82	84	72	97
520	69	69	74	66	85
530	60	57	67	60	72
540	50	47	57	54	58
550	41	–	49	47	52
560	33	–	41	40	45
570	–	–	–	35	40
580	–	–	–	30	34
590	–	–	–	28	30
600	–	–	–	25	25

*Примітки.* 1. Якщо розрахункові температури нижчі від 20 °С, допустимі напруження беруть такими самими, як за температури 20 °С для допустимого застосування матеріалу за цієї температури.

2. Для проміжних розрахункових температур стінки допустиме напруження визначають лінійною інтерполяцією з округленням результатів до 0,5 МПа у бік меншого значення.

3. Якщо розрахункові температури нижчі за 200 °С, сталь марок 12МХ, 12ХМ, 15ХМ застосовувати не рекомендується.

Таблиця В.3. Допустимі напруження для жароміцних, жаростійких і корозійностійких сталей аустенітного класу за ГОСТ 14249-89

Розрахункова температура стінки посудини або апарата, °С	Допустиме напруження [σ], МПа, для сталей марок				
	03X21Н21М4ГБ	03X18Н11	03X17Н14М3	08X18Н10Т, 08X18Н12Т, 08X17Н13М2Т, 08X17Н15М3Т	12X18Н10Т, 12X18Н12Т, 10X17Н13М2Т, 10X17Н13М3Т
20	180	160	153	168	184
100	173	133	140	156	174
150	171	125	130	148	168
200	171	120	120	140	160
250	167	115	113	132	154
300	149	112	103	123	148
350	143	108	101	113	144
375	141	107	90	108	140
400	140	107	87	103	137
410	–	107	83	102	136
420	–	107	82	101	135
430	–	107	81	100,5	134
440	–	107	81	100	133
450	–	107	80	99	132
460	–	–	–	98	131
470	–	–	–	97,5	130
480	–	–	–	97	129
490	–	–	–	96	128
500	–	–	–	95	127
510	–	–	–	94	126
520	–	–	–	79	125
530	–	–	–	79	124
540	–	–	–	78	111
550	–	–	–	76	111
560	–	–	–	73	101
570	–	–	–	69	97
580	–	–	–	65	90
590	–	–	–	61	81
600	–	–	–	57	74
610	–	–	–	–	68
620	–	–	–	–	62
630	–	–	–	–	57
640	–	–	–	–	52
650	–	–	–	–	48
660	–	–	–	–	45
670	–	–	–	–	42
680	–	–	–	–	38
690	–	–	–	–	34
700	–	–	–	–	30



*Примітки.* 1. Якщо розрахункові температури нижчі від 20 °С, допустимі напруження беруть такими самими, як і за температури 20 °С для допустимого застосування матеріалу за цієї температури.

2. Для проміжних розрахункових температур стінки допустиме напруження визначають інтерполяцією двох найближчих значень, що зазначені в таблиці, з округленням результатів до 0,5 МПа у бік меншого значення.

3. Для поковок зі сталі марок 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т допустимі напруження, що зазначені в таблиці за температур до 550 °С, домножують на 0,83.

4. Для сортового прокату зі сталі марок 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т допустимі напруження, що зазначені в таблиці за температур до 550 °С, домножують на відношення  $\sigma_{0.2}^*/240$ , де  $\sigma_{0.2}^*$  – умовна границя плинності матеріалу сортового прокату, визначена за ГОСТ 5949; для сортового прокату зі сталі марки 03Х18Н11 допустиме напруження домножують на 0,8.

5. Для поковок і сортового прокату з сталі марки 08Х18Н10Т допустимі напруження, що зазначені в таблиці за температур до 550 °С, домножують на 0,95.

6. Для поковок зі сталі марки 03Х17Н14М3 допустимі напруження, що зазначені в таблиці, домножують на 0,9.

7. Для поковок зі сталі марки 03Х18Н11 допустимі напруження, що зазначені в таблиці, домножують на 0,9; для сортового прокату з сталі марки 03Х18Н11 допустимі напруження домножують на 0,8.

8. Для труб зі сталі марки 03Х21Н21М4ГБ (ЗІ-35) допустимі напруження, що зазначені в таблиці, домножують на 0,88.

9. Для поковок зі сталі марки 03Х21Н21М4ГБ (ЗІ-35) допустимі напруження, що зазначені в таблиці, домножують на відношення  $\sigma_{0.2}^*/250$ , де  $\sigma_{0.2}^*$  – умовна границя плинності матеріалу поковок, визначена за ГОСТ 25054 (за погодженням).

*Таблиця В.4. Допустимі напруження для жароміцних, жаростійких і корозійностійких сталей аустенітного та аустенітно-феритного класів за ГОСТ 14249-89*

Розрахункова температура стінки посудини або апарата, °С	Допустиме напруження $[\sigma]$ , МПа, для сталей марок					
	08X18Г8Н2Т (КО-3)	07X13АГ20 (ЧС-46)	02X8Н22С6 (ЭП-794)	15X18Н12С4ТЮ (ЭИ-654)	06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ	08X22Н6Т, 08X21Н6М2Т
20	230	233	133	233	147	233
100	206	173	106,5	220	138	200
150	190	153	100	206,5	130	193
200	175	133	90	200	124	188,5
250	160	127	83	186,5	117	166,5
300	144	120	76,5	180	110	160
350	–	113	–	–	107	–
375	–	110	–	–	105	–
400	–	107	–	–	103	–

*Примітки:* 1. Якщо розрахункові температури нижчі від 20 °С, допустимі напруження беруть такими самими, як і за температури 20 °С для допустимого застосування матеріалу за цієї температури.

2. Для проміжних розрахункових температур стінки допустиме напруження визначають інтерполяцією двох найближчих значень, що зазначені в таблиці, з округленням результатів до 0,5 МПа в бік меншого значення.

**Додаток Г. Основні розміри і властивості стандартних лінзових компенсаторів**

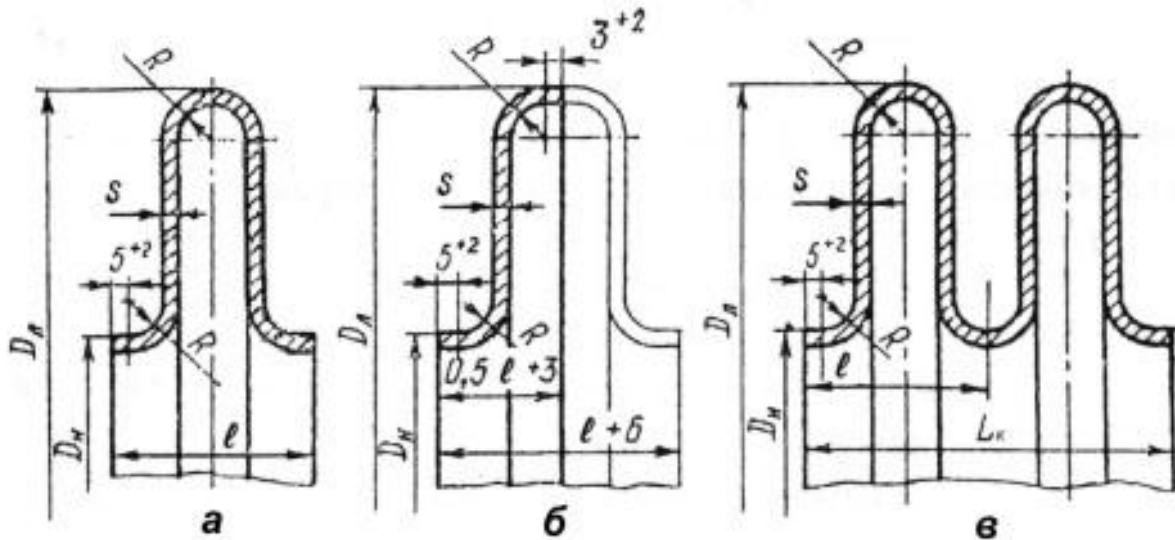


Рис. Г.1. Конструкції елементів лінзових компенсаторів відповідно до ОСТ 26-01-1505–76: *a* – лінза; *б* – півлінза; *в* – багатолінзовий елемент

Таблиця Г.1. Основні розміри стандартних лінзових компенсаторів відповідно до ОСТ 26-01-1505–76 [1]

Умовний тиск $p_y$ , МПа	Основні розміри лінзових компенсаторів, мм									
	$D_y$	$D_n$	$D_l$	$s$	$R$	$l$	$L_k$ для компенсаторів з кількістю лінз			
							1	2	3	4
0,25	400–600	$D_y+12$	$D_n+250$	3	22	104	104	205	306	407
	700–1400	$D_y+16$								
	1600–5000	$D_y+20$								
0,6	400–600	$D_y+8$	$D_n+150$	4	14	72	72	141	210	279
	700–1400	$D_y+16$								
	1600–3600	$D_y+20$								
1,0	400–600	$D_y+12$	$D_n+100$	3	10	51	–	102	148	240*
	700–1400	$D_y+16$								
	1600–1800	$D_y+20$								
	2000–3000	$D_y+24$								
1,6	400–600	$D_y+8$	$D_n+150$	4	14	74	74	145	216	287
	700–1400	$D_y+16$								
	1600–1800	$D_y+20$								
	2000–2200	$D_y+24$								
2,5	400–500	$D_y+12$	$D_n+100$	3	10	51	–	102	148	240*
	500–600	$D_y+16$								
	700–800	$D_y+20$								

\*Для компенсатора з п'ятьма елементами.

Таблиця Г.2. Границі застосування стандартних лінзових компенсаторів відповідно до ОСТ 26-01-1505–76 [1]

Марка сталі	Температура середовища, °С	Найбільший тиск, МПа, за умовного тиску $p_y$ , МПа				
		0,25	0,6	1,0	1,6	2,5
СтЗсп4, 20, 20К, 16ГС, 09Г2С	100	0,25	0,60	1,00	1,60	2,5
	200	0,24	0,56	0,94	1,50	2,4
	250	0,22	0,54	0,90	1,40	2,2
	300	0,20	0,48	0,80	1,30	2,0
	350	0,18	0,44	0,72	1,15	1,8
	400	0,16	0,38	0,64	1,00	1,6
	425	0,12	0,32	0,54	0,85	1,2
	450	0,10	0,25	0,42	0,68	1,0
08Х22М6Т, 08Х21Н6М2Т, 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М3Т	100	0,25	0,60	1,00	1,60	2,5
	200	0,23	0,55	0,92	1,50	2,3
	250	0,22	0,54	0,90	1,40	2,2
	300	0,21	0,51	0,86	1,35	2,1
	350	0,20	0,50	0,82	1,30	2,0
	400	0,20	0,48	0,80	1,25	2,0
	425	0,20	0,47	0,78	1,25	2,0
	450	0,19	0,46	0,76	1,20	1,9
	475	0,19	0,45	0,75	1,20	1,9
	500	0,18	0,44	0,74	1,20	1,8
	540	0,18	0,44	0,72	1,15	1,8
	570	0,16	0,38	0,64	1,00	1,6
	600	0,12	0,29	0,48	0,78	1,2
610	0,11	0,27	0,44	0,70	1,1	
08Х18Н10Т, 08Х17Н15М3Т, 06Х28МДТ	100	0,25	0,60	1,00	1,60	2,50
	200	0,22	0,53	0,88	1,40	2,20
	250	0,20	0,50	0,84	1,30	2,00
	300	0,19	0,46	0,76	1,20	1,90

Марка сталі	Температура середовища, °C	Найбільший тиск, МПа, за умовного тиску $p_y$ , МПа				
		0,25	0,6	1,0	1,6	2,5
08X18H10T, 08X17H15M3T, 06X28MДТ	350	0,18	0,42	0,70	1,10	1,80
	400	0,16	0,40	0,66	1,05	1,65
	425	0,16	0,40	0,66	1,00	1,60
	450	0,16	0,40	0,64	1,00	1,60
	475	0,16	0,38	0,64	1,00	1,60
	500	0,16	0,38	0,62	1,00	1,55
	540	0,15	0,36	0,60	0,96	1,50
	570	0,13	0,32	0,54	0,85	1,30
	600	0,11	0,26	0,44	0,70	1,10
10X17H13M20	100	0,25	0,66	1,00	1,60	2,5
	200	0,23	0,55	0,92	1,50	2,3
	300	0,21	0,51	0,86	1,35	2,1
	350	0,20	0,50	0,82	1,30	2,0
	400	0,20	0,48	0,80	1,25	2,0
	450	0,19	0,46	0,76	1,20	1,9
10X17H13M2T	500	0,18	0,44	0,74	1,20	1,8
	540	0,18	0,44	0,72	1,15	1,8
	570	0,16	0,38	0,64	1,00	1,6
	600	0,12	0,29	0,48	0,78	1,2
	625	0,10	0,23	0,38	0,62	1,0
	650	0,08	0,19	0,32	0,50	0,8
	675	0,06	0,16	0,26	0,42	0,6
	700	0,05	0,12	0,22	0,30	0,5

Таблиця Г.3. Компенсувальна здатність однієї лінзи  $\delta_{л}$  стандартних лінзових компенсаторів відповідно до ОСТ 26-01-1505–76

Умовний тиск $p_y$ , МПа	Умовний діаметр $D_y$ , мм	Компенсувальна здатність однієї лінзи $\pm\delta_{л}$ , мм, при загальній кількості циклів роботи компенсаторів за період експлуатації, год.					
		300	600	1000	2000	5000	10000
0,25	400–450	$\pm 9$	$\pm 8$	$\pm 7$	$\pm 6$	$\pm 5$	$\pm 4$
	500–5000	$\pm 10$	$\pm 9$	$\pm 8$	$\pm 7$	$\pm 6$	$\pm 4,5$
0,6	400–450	$\pm 7$	$\pm 6,5$	$\pm 6$	$\pm 5$	$\pm 4$	$\pm 3,2$
	500–3600	$\pm 8$	$\pm 7,5$	$\pm 7$	$\pm 6$	$\pm 4,5$	$\pm 3,8$
1,0	400–1400	$\pm 4,5$	$\pm 4$	$\pm 3,7$	$\pm 3$	$\pm 2,4$	$\pm 2$
	1600–3000	$\pm 4$	$\pm 3,5$	$\pm 3,3$	$\pm 2,8$	$\pm 2,3$	$\pm 1,8$
1,6	400–1400	$\pm 3,5$	$\pm 3,3$	$\pm 2,9$	$\pm 2,4$	$\pm 1,9$	$\pm 1,5$
	1600–2200	$\pm 3$	$\pm 2,8$	$\pm 2,6$	$\pm 2,2$	$\pm 1,7$	$\pm 1,4$
2,5	400–800	$\pm 2,5$	$\pm 2,2$	$\pm 1,9$	$\pm 1,6$	$\pm 1,2$	$\pm 1,0$

*Примітки.* 1. Для компенсаторів, що не піддаються під час монтажу попередньому розтягуванню або стисненню, компенсувальну здатність беруть 75 % від загальної компенсувальної здатності  $2\delta_{л}$ .

2. Компенсувальну здатність компенсаторів з дренажними трубками і без них припускають однакою.

## ДОДАТОК Д. Розрахункові значення коефіцієнтів для визначення напруження й жорсткості

Таблиця Д.1. Розрахункові значення коефіцієнтів  $R_{(P)}$ ,  $R_{(W)}$  для визначення напруження на боці більшого діаметра компенсатора і коефіцієнта  $R_{(CW)}$  для визначення жорсткості компенсатора за ГОСТ 30780–2002

$d/h$	3,0	$r/h$										
		0,500	0,475	0,450	0,425	0,400	0,350	0,300	0,250	0,200	0,150	0,100
$s/h$	0,018	30,04	30,87	32,45	34,30	37,56	43,56	50,32	59,11	68,31	80,16	117,5
		265,8	239,9	220,7	201,3	184,4	156,7	134,9	116,6	100,3	87,62	91,60
		8,494	6,549	5,155	4,088	3,298	2,236	1,580	1,145	0,841	0,639	0,559
	0,020	26,30	26,76	28,10	29,50	32,24	37,14	42,66	49,83	57,08	67,88	97,03
		274,9	247,1	229,1	210,3	193,8	165,9	143,2	123,7	106,4	94,03	103,8
		10,35	8,078	6,423	5,142	4,179	2,865	2,036	1,478	1,089	0,843	0,753
	0,023	21,76	22,15	23,22	24,18	26,35	30,11	34,36	39,72	44,87	55,30	74,71
		286,2	256,4	239,8	222,1	206,0	178,0	154,1	132,9	114,7	103,5	121,7
		13,45	10,66	8,582	6,950	5,703	3,961	2,832	2,063	1,535	1,221	1,129
	0,026	18,44	18,78	19,65	20,46	22,11	25,07	28,43	32,50	36,22	45,60	59,07
		295,3	266,4	248,8	232,1	216,4	188,1	163,2	140,9	122,5	113,5	139,2
		16,91	13,57	11,04	9,023	7,459	5,233	3,762	2,754	2,076	1,698	1,614
	0,030	15,20	15,49	16,18	16,85	18,02	20,25	22,77	25,64	28,10	35,87	44,81
		304,3	278,3	258,6	242,9	227,7	199,3	173,2	150,1	132,3	131,1	162,2
		22,05	17,93	14,75	12,18	10,14	7,193	5,207	3,846	2,962	2,508	2,456
	0,035	12,35	12,59	13,12	13,66	14,46	16,07	17,88	19,77	21,28	27,30	33,88
		314,1	293,2	274,1	254,8	238,6	210,1	183,3	160,1	145,0	158,6	190,4
		29,25	24,09	20,03	16,69	14,01	10,05	7,344	5,510	4,368	3,846	3,870
	0,040	10,31	10,51	10,94	11,38	11,93	13,13	14,45	15,72	16,68	21,77	26,51
		324,2	304,4	285,8	266,9	249,1	218,3	191,6	169,4	159,1	185,4	218,2
		37,21	30,96	25,96	21,80	18,41	13,34	9,864	7,539	6,154	5,599	5,747
	0,045	08,78	08,96	09,03	09,67	10,05	10,95	11,93	12,79	14,19	17,91	21,32
		331,6	312,9	294,8	276,2	258,6	226,5	199,7	180,6	176,9	211,7	245,7
		45,85	38,46	32,47	27,44	23,31	17,07	12,79	9,975	8,374	7,828	8,153
	0,050	07,59	07,75	08,03	08,34	08,61	09,29	10,02	10,62	12,19	14,98	17,53
		336,9	319,2	301,7	283,5	266,2	234,6	208,8	191,8	201,8	237,4	272,8
		55,11	46,55	39,53	33,61	28,70	21,25	16,15	12,86	11,08	10,59	11,15
	0,060	05,88	06,00	06,20	06,42	06,53	06,93	07,36	07,66	09,24	10,94	
		343,6	327,5	311,3	294,3	278,0	248,7	226,1	216,1	250,2	287,6	
		75,32	64,36	55,24	47,46	40,97	31,05	24,34	20,19	18,17	17,96	
	0,070	04,71	04,81	04,95	05,10	05,17	05,39	05,63	06,16	07,24	08,35	
		349,2	332,6	317,9	302,3	287,5	261,5	245,4	260,6	297,1	336,6	
		97,70	84,32	73,06	63,42	55,33	42,98	34,77	29,91	27,87	28,19	
	0,080	03,88	03,94	04,04	04,16	04,21	04,33	04,45	05,08	05,83		
		358,1	341,3	325,7	310,8	297,7	277,8	271,2	304,3	342,6		
		122,3	106,5	93,14	81,66	72,02	57,35	47,79	42,42	40,60		
	0,090	03,27	03,31	03,37	03,46	03,49	03,55	03,79	04,27	04,80		
		366,1	350,9	337,0	323,8	312,5	296,6	311,8	346,9	387,0		
		149,2	131,1	115,7	102,4	91,31	74,49	63,76	58,12	56,79		
	0,100	02,81	02,84	02,86	02,93	02,95	02,99	03,29	03,64			$R_{(P)}$
		373,8	360,3	348,1	336,8	327,4	321,1	351,5	388,3			$R_{(W)}$
		178,8	158,4	141,0	126,0	113,5	94,72	83,06	77,41			$R_{(CW)}$

$d/h$	3,5	$r/h$										
		0,500	0,475	0,450	0,425	0,400	0,350	0,300	0,250	0,200	0,150	0,100
$s/h$	0,018	32,96	33,41	34,95	36,92	40,14	46,23	53,17	61,97	70,91	84,70	119,2
		246,2	219,0	202,3	185,8	171,2	146,5	126,3	108,8	93,29	82,57	92,30
		7,485	5,843	4,647	3,721	3,025	2,075	1,474	1,069	0,786	0,609	0,546
	0,020	28,59	28,95	30,28	31,79	34,49	39,47	45,11	52,24	59,16	72,51	97,86
		253,8	227,0	209,4	193,6	179,3	154,5	133,4	114,8	98,72	88,83	104,0
		9,123	7,203	5,784	4,672	3,826	2,649	1,891	1,374	1,018	0,805	0,741
	0,023	23,67	23,99	25,05	26,09	28,24	32,04	36,28	41,58	46,37	58,15	74,87
		263,2	237,4	218,4	203,5	189,7	164,6	142,4	122,6	106,3	98,55	121,2
		11,85	9,493	7,713	6,298	5,201	3,643	2,615	1,909	1,435	1,171	1,114
	0,026	20,07	20,35	21,21	22,01	23,71	26,70	30,01	33,96	37,32	47,34	58,95
		270,3	245,6	225,8	211,7	198,2	172,9	149,8	129,3	113,6	112,0	138,1
		14,89	2,06	9,897	8,149	6,776	4,788	3,455	2,541	1,944	1,635	1,596
	0,030	16,56	16,80	17,48	18,13	19,34	21,56	24,00	26,71	28,85	36,79	45,10
		277,1	254,3	237,2	220,3	207,1	181,7	158,0	137,4	123,1	133,6	160,3
		19,38	15,90	13,17	10,94	9,163	6,540	4,757	3,544	2,783	2,429	2,433
	0,035	13,46	13,66	14,18	14,69	15,51	17,08	18,79	20,52	21,75	27,85	33,95
		283,4	265,8	249,2	232,3	216,6	190,0	166,2	146,5	137,1	160,0	187,6
		25,63	21,27	17,80	14,92	12,58	9,078	6,684	5,083	4,128	3,744	3,840
	0,040	11,23	11,40	11,81	12,22	12,78	13,92	15,13	16,25	17,68	22,28	26,49
		290,6	273,9	257,9	241,3	225,7	197,3	173,7	157,1	156,4	185,7	214,6
		32,50	27,23	22,95	19,37	16,44	12,00	8,966	6,976	5,850	5,474	5,709
	0,045	09,55	09,70	10,03	10,36	10,74	11,58	12,45	13,18	14,88	18,22	21,26
		295,4	279,7	264,2	248,1	232,8	205,0	182,5	168,1	180,8	210,9	241,3
		39,92	33,70	28,60	24,29	20,73	15,32	11,63	9,269	8,005	7,678	8,105
	0,050	08,25	08,38	08,64	08,92	09,17	09,79	10,43	10,90	12,67	15,18	17,45
		298,7	283,8	269,0	253,5	238,6	211,9	191,1	179,2	204,7	235,7	267,8
		47,85	40,66	34,71	29,65	25,46	19,06	14,73	12,01	10,64	10,42	11,09
	0,060	06,37	06,47	06,64	06,82	06,93	07,27	07,62	08,01	09,49	11,01	
		302,3	289,1	275,7	261,6	248,2	224,6	208,4	220,8	251,2	284,3	
		65,16	55,99	48,32	41,76	36,28	27,92	22,35	19,03	17,60	17,73	
	0,070	05,08	05,16	05,27	05,40	05,44	05,62	05,81	06,41	07,38	08,37	
		310,7	295,7	281,8	268,6	257,0	239,4	236,6	264,2	296,3	331,8	
		84,40	73,27	63,88	55,84	49,09	38,86	32,19	28,44	27,15	27,89	
	0,080	04,16	04,22	04,29	04,39	04,41	04,49	04,64	05,25	05,91		
		318,3	304,9	292,7	281,3	271,4	257,8	276,8	306,2	340,2		
		105,7	92,67	81,62	72,13	64,19	52,21	44,61	40,64	39,72		
	0,090	03,50	03,52	03,57	03,64	03,65	03,68	03,95	04,38	04,85		
		330,1	316,7	305,2	295,0	288,4	290,5	316,0	347,1	383,1		
		129,3	114,4	101,8	90,92	81,85	68,31	59,98	56,01	55,75		
	0,100	02,99	03,01	03,02	03,07	03,08	03,15	03,41	03,72			$R_{(P)}$
		344,3	333,3	324,3	316,8	312,3	326,9	354,1	387,1			$R_{(W)}$
		155,5	138,8	124,6	112,5	102,4	87,51	78,67	74,97			$R_{(CW)}$



$d/h$	4,0	$r/h$										
		0,500	0,475	0,450	0,425	0,400	0,350	0,300	0,250	0,200	0,150	0,100
$s/h$	0,018	35,49	35,98	37,37	39,44	42,64	48,80	55,88	64,62	73,18	89,62	120,1
		229,0	204,8	186,7	172,6	159,8	137,5	118,6	101,8	87,41	78,71	92,47
		6,680	5,270	4,229	3,414	2,795	1,934	1,379	1,001	0,740	0,584	0,538
	0,020	30,79	31,15	32,39	33,99	36,67	41,71	47,43	54,43	60,93	75,90	98,19
		235,4	212,0	192,8	179,3	166,8	144,3	124,6	107,0	92,44	84,92	103,8
		8,141	6,493	5,257	4,279	3,526	2,461	1,762	1,283	0,958	0,775	0,732
	0,023	25,52	25,77	26,81	27,93	30,06	33,88	38,13	43,24	47,61	60,11	74,81
		243,0	220,9	200,9	187,7	175,5	152,7	132,1	113,7	99,64	97,99	120,4
		10,57	8,542	6,994	5,749	4,773	3,365	2,423	1,777	1,353	1,133	1,103
	0,026	21,65	21,87	22,72	23,53	25,25	28,23	31,46	35,24	38,22	48,49	58,93
		248,5	227,2	208,2	194,3	182,4	159,5	138,3	119,7	106,7	114,0	136,9
		13,26	10,83	8,947	7,411	6,190	4,401	3,189	2,362	1,838	1,588	1,583
	0,030	17,87	18,06	18,73	19,35	20,59	22,77	25,10	27,62	29,45	37,34	45,26
		253,5	233,4	218,3	203,1	189,3	166,5	145,0	127,0	117,3	134,9	158,5
		17,22	14,23	11,86	9,903	8,326	5,978	4,374	3,296	2,644	2,370	2,417
	0,035	14,51	14,68	15,18	15,66	16,48	18,00	19,58	21,14	22,48	28,48	33,97
		257,1	242,0	227,5	212,5	198,5	173,0	152,1	136,9	135,3	160,4	185,2
		22,69	18,95	15,94	13,42	11,36	8,259	6,136	4,741	3,945	3,670	3,819
	0,040	12,10	12,24	12,62	13,00	13,55	14,62	15,71	16,69	18,45	22,65	26,45
		262,0	247,8	233,8	219,4	205,6	180,7	160,6	147,7	159,4	185,3	211,6
		28,68	24,16	20,47	17,35	14,79	10,89	8,237	6,535	5,623	5,384	5,682
	0,045	10,27	10,39	10,69	10,99	11,36	12,13	12,89	13,50	15,40	18,44	21,20
		265,0	251,7	238,4	224,5	211,2	187,4	169,0	158,7	183,0	209,8	237,7
		35,13	29,81	25,41	21,69	18,60	13,90	10,71	8,726	7,732	7,572	8,072
	0,050	08,86	08,96	09,19	09,43	09,68	10,22	10,76	11,15	13,03	15,31	17,39
		266,9	254,4	241,8	228,6	216,0	193,7	177,3	180,6	206,1	233,9	263,7
		42,01	35,88	30,78	26,43	22,81	17,30	13,61	11,36	10,33	10,29	11,05
	0,060	06,80	06,88	07,03	07,18	07,27	07,56	07,84	08,32	09,68	11,06	
		273,8	258,6	246,8	235,3	224,4	206,2	200,7	223,9	251,1	281,2	
		57,06	49,31	42,78	37,21	32,54	25,46	20,82	18,17	17,19	17,56	
	0,070	05,41	05,47	05,56	05,66	05,68	05,82	05,97	06,60	07,48	08,39	
		282,0	268,2	256,5	246,0	237,0	225,4	240,8	265,8	294,8	327,6	
		73,93	64,58	56,67	49,89	44,22	35,68	30,25	27,37	26,63	27,68	
	0,080	04,41	04,46	04,52	04,59	04,59	04,64	04,83	05,37	05,97		
		295,9	283,6	273,0	263,7	257,5	258,4	279,8	306,4	337,5		
		92,82	81,92	72,67	64,76	58,16	48,31	42,25	39,34	39,10		
	0,090	03,70	03,71	03,75	03,80	03,79	03,79	04,08	04,47	04,89		
		310,3	300,3	292,2	285,4	281,7	294,5	317,7	346,1	379,4		
		114,0	101,6	91,10	82,13	74,67	63,69	57,20	54,49	55,01		
	0,100	03,16	03,16	03,17	03,21	03,19	03,28	03,51	03,78			$R_{(P)}$
		328,8	320,0	314,2	310,9	310,7	329,8	354,7	384,9			$R_{(W)}$
		137,7	123,9	112,2	102,3	94,07	82,16	75,46	73,22			$R_{(CW)}$

$d/h$	5,0	$r/h$										
		0,500	0,475	0,450	0,425	0,400	0,350	0,300	0,250	0,200	0,150	0,100
$s/h$	0,018	40,31	40,90	42,00	44,25	47,41	53,69	60,87	69,27	76,84	96,11	120,7
		200,2	181,3	164,7	151,0	140,8	122,0	105,1	90,14	78,35	75,17	92,14
		5,476	4,396	3,579	2,927	2,420	1,697	1,217	0,887	0,667	0,549	0,529
	0,020	35,01	35,44	36,44	38,19	40,82	45,91	51,62	58,19	63,72	80,18	98,19
		204,6	186,4	170,2	155,8	145,8	126,9	109,5	94,25	82,99	85,26	102,9
		6,666	5,402	4,433	3,651	3,035	2,143	1,544	1,133	0,866	0,733	0,721
	0,023	29,05	29,31	30,19	31,41	33,48	37,28	41,39	46,01	49,52	62,44	74,64
		209,4	192,1	176,4	161,5	151,8	132,7	115,0	99,83	90,06	100,8	118,9
		8,628	7,075	5,860	4,867	4,073	2,902	2,106	1,566	1,231	1,081	1,090
	0,026	24,65	24,80	25,58	26,45	28,11	31,00	33,99	37,30	39,57	49,75	59,41
		212,5	196,1	180,8	167,9	156,2	137,2	119,5	105,0	98,31	115,9	134,7
		10,78	8,924	7,448	6,226	5,238	3,764	2,757	2,084	1,684	1,526	1,567
	0,030	20,32	20,43	21,05	21,61	22,86	24,91	26,95	29,07	30,84	38,33	45,42
		214,7	199,4	186,7	174,5	162,9	142,0	124,8	113,0	115,9	135,7	155,5
		13,92	11,63	9,787	8,243	6,979	5,073	3,772	2,922	2,447	2,293	2,397
	0,035	16,46	16,56	17,01	17,42	18,22	19,57	20,87	22,10	24,14	29,30	33,96
		217,2	203,3	192,0	180,2	169,0	148,9	133,1	123,7	139,4	160,0	181,3
		18,22	15,37	13,04	11,07	9,442	6,974	5,300	4,241	3,693	3,574	3,793
	0,040	13,67	13,75	14,08	14,38	14,90	15,80	16,65	17,36	19,54	23,12	26,38
		221,3	206,1	195,5	184,4	173,8	155,1	141,3	142,5	162,2	183,8	206,9
		22,89	19,47	16,64	14,23	12,23	9,191	7,153	5,906	5,315	5,268	5,649
	0,045	11,56	11,63	11,87	12,09	12,43	13,03	13,59	14,00	16,12	18,72	21,11
		224,8	210,6	198,0	187,7	178,0	161,1	149,8	164,1	184,6	207,2	232,3
		27,92	23,92	20,58	17,73	15,36	11,76	9,374	7,966	7,368	7,435	8,030
	0,050	09,93	09,98	10,16	10,33	10,53	10,94	11,31	11,61	13,53	15,49	17,30
		228,1	215,0	203,1	192,0	182,3	168,5	167,3	185,2	206,5	230,3	257,5
		33,31	28,73	24,88	21,60	18,86	14,71	12,01	10,47	9,904	10,13	11,00
	0,060	07,57	07,60	07,70	07,79	07,86	08,04	08,19	08,79	09,95	11,13	
		237,2	225,9	216,1	207,5	200,3	192,4	206,6	226,3	249,4	276,0	
		45,23	39,51	34,69	30,56	27,12	21,95	18,70	17,02	16,64	17,36	
	0,070	05,98	06,01	06,06	06,11	06,11	06,17	06,23	06,89	07,64	08,42	
		250,8	241,1	233,1	227,0	222,4	227,8	244,8	266,1	291,3	320,9	
		58,88	52,07	46,31	41,39	37,30	31,25	27,59	25,94	25,96	27,41	
	0,080	04,86	04,88	04,91	04,94	04,90	04,91	05,13	05,57	06,08		
		267,9	260,2	254,4	250,6	250,1	263,1	281,8	304,9	332,4		
		74,52	66,68	60,04	54,40	49,73	42,94	39,07	37,64	38,30		
	0,090	04,06	04,06	04,07	04,09	04,05	04,06	04,31	04,62	04,97		
		288,1	282,7	280,3	279,1	282,2	297,6	317,9	342,9	372,8		
		92,43	83,63	76,20	69,91	64,74	57,40	53,48	52,50	54,06		
	0,100	03,47	03,44	03,44	03,45	03,42	03,52	03,69	03,90			$R_{(P)}$
		312,8	309,5	307,8	307,6	314,1	331,2	353,2	380,2			$R_{(W)}$
		112,9	103,2	95,09	88,23	82,66	74,94	71,21	70,93			$R_{(CW)}$

$d/h$	7,0	$r/h$										
		0,500	0,475	0,450	0,425	0,400	0,350	0,300	0,250	0,200	0,150	0,100
$s/h$	0,018	49,27	49,95	50,62	53,08	56,13	62,34	69,16	76,31	81,70	102,1	120,3
		157,9	145,4	133,8	122,5	112,3	98,09	84,92	73,95	68,75	78,08	90,85
		3,966	3,259	2,704	2,248	1,883	1,343	0,975	0,727	0,576	0,511	0,520
	0,020	42,80	43,28	43,92	45,80	48,29	53,18	58,37	63,68	67,33	83,84	98,29
		159,7	147,7	136,5	125,4	115,4	100,7	87,66	77,30	75,28	87,85	101,1
		4,802	3,976	3,319	2,775	2,335	1,677	1,228	0,929	0,755	0,688	0,711
	0,023	35,46	35,73	36,31	37,58	39,47	42,93	46,41	49,87	52,75	64,17	75,47
		161,0	149,8	139,2	128,7	119,2	103,8	91,44	83,47	88,43	102,2	116,3
		6,160	5,147	4,329	3,646	3,086	2,242	1,667	1,294	1,089	1,026	1,077
	0,026	30,01	30,12	30,65	31,50	32,96	35,44	37,80	40,11	42,41	51,56	59,79
		162,9	151,0	141,0	131,0	122,5	107,8	96,28	91,34	102,1	116,4	131,4
		7,629	6,423	5,437	4,607	3,922	2,886	2,184	1,740	1,511	1,461	1,551
	0,030	24,61	24,58	25,04	25,53	26,58	28,20	29,61	30,98	33,69	39,90	45,53
		166,0	154,5	144,2	134,5	126,0	112,5	103,1	106,3	119,9	135,0	151,4
		9,745	8,274	7,058	6,028	5,173	3,876	3,009	2,480	2,232	2,215	2,377
	0,035	19,77	19,73	20,03	20,26	20,96	21,91	22,68	23,38	26,08	30,17	33,94
		169,0	158,7	149,3	140,5	132,9	120,8	116,0	127,3	141,7	157,8	176,3
		12,63	10,82	9,317	8,035	6,967	5,351	4,290	3,674	3,427	3,478	3,767
	0,040	16,28	16,23	16,42	16,56	16,98	17,53	17,95	18,29	20,79	23,64	26,31
		171,9	162,7	154,3	146,5	140,3	131,8	135,0	147,7	162,9	180,4	201,0
		15,79	13,65	11,85	10,32	9,047	7,126	5,891	5,214	4,996	5,154	5,616
	0,045	13,66	13,62	13,73	13,80	14,05	14,37	14,58	14,96	16,98	19,06	21,03
		177,2	168,8	161,5	155,1	149,8	144,6	154,2	167,7	183,9	202,8	225,8
		19,23	16,77	14,69	12,92	11,45	9,242	7,859	7,148	6,995	7,300	7,990
	0,050	11,65	11,61	11,67	11,70	11,84	12,00	12,10	12,64	14,15	15,71	17,22
		183,8	176,1	169,6	164,4	160,9	162,0	173,0	187,3	204,5	224,9	251,9
		23,01	20,22	17,87	15,87	14,21	11,74	10,24	9,528	9,477	9,976	10,95
	0,060	08,80	08,76	08,77	08,76	08,77	08,78	08,75	09,42	10,31	11,26	
		200,3	194,6	190,8	188,6	188,5	197,1	209,7	225,7	245,2	268,8	
		31,65	28,27	25,41	22,98	20,98	18,08	16,42	15,82	16,10	17,15	
	0,070	06,93	06,89	06,87	06,85	06,81	06,75	06,85	07,33	07,89	08,51	
		222,3	219,6	218,1	217,5	220,5	231,0	245,3	263,2	285,2	314,5	
		42,02	38,08	34,76	31,97	29,68	26,47	24,82	24,49	25,31	27,15	
	0,080	05,64	05,60	05,57	05,54	05,48	05,39	05,60	05,90	06,27		
		248,8	246,7	245,9	247,5	252,0	264,1	280,1	300,0	324,6		
		54,40	49,96	46,25	43,15	40,66	37,28	35,79	35,92	37,51		
	0,090	04,70	04,67	04,64	04,60	04,53	04,56	04,69	04,88	05,13		
		274,9	273,5	273,5	277,4	282,7	296,4	314,2	336,2	366,5		
		69,10	64,23	60,19	56,85	54,22	50,84	49,70	50,52	53,14		
	0,100	04,03	03,98	03,95	03,91	03,92	03,94	04,02	04,13			$R_{(P)}$
		300,8	300,3	301,7	306,7	312,8	328,2	347,7	371,9			$R_{(W)}$
		86,42	81,18	76,89	73,39	70,70	67,50	66,91	68,67			$R_{(CW)}$

$d/h$	10	$r/h$										
		0,500	0,475	0,450	0,425	0,400	0,350	0,300	0,250	0,200	0,150	0,100
$s/h$	0,018	61,15	61,77	62,00	64,39	67,08	72,51	78,01	82,96	87,49	104,8	121,5
		117,5	109,2	101,9	94,54	87,78	76,16	67,78	63,96	69,46	79,08	89,20
		2,709	2,272	1,917	1,619	1,374	1,003	0,752	0,592	0,507	0,486	0,514
	0,020	52,93	53,29	53,49	55,27	57,38	61,40	65,30	68,70	72,18	86,23	99,32
		119,2	110,5	102,7	95,83	89,40	78,37	71,45	69,92	78,28	88,25	99,05
		3,250	2,742	2,326	1,975	1,685	1,246	0,950	0,766	0,675	0,659	0,704
	0,023	43,55	43,65	43,84	44,94	46,43	49,02	51,37	53,33	56,93	66,90	75,98
		121,0	113,1	105,8	99,02	93,03	83,51	78,01	81,85	91,25	101,8	113,8
		4,120	3,506	2,997	2,565	2,206	1,663	1,303	1,087	0,991	0,992	1,069
	0,026	36,57	36,49	36,67	37,33	38,40	40,08	41,48	42,62	46,26	53,44	60,05
		122,6	115,3	108,7	102,5	97,03	88,93	86,08	94,10	104,0	115,3	128,4
		5,060	4,338	3,735	3,222	2,796	2,151	1,731	1,489	1,395	1,421	1,542
	0,030	29,68	29,46	29,62	29,92	30,62	31,55	32,22	32,76	36,16	41,05	45,64
		124,7	118,3	112,5	107,5	103,4	98,01	101,4	110,1	120,7	133,0	147,8
		6,425	5,560	4,834	4,216	3,701	2,929	2,436	2,171	2,093	2,167	2,366
	0,035	23,57	23,34	23,41	23,45	23,88	24,29	24,50	24,65	27,63	30,87	33,97
		131,0	125,3	120,5	116,2	113,6	113,0	120,1	129,6	141,2	155,0	172,0
		8,329	7,290	6,415	5,671	5,052	4,133	3,568	3,292	3,257	3,420	3,752
	0,040	19,24	19,04	19,02	18,94	19,20	19,34	19,31	19,70	21,86	24,12	26,33
		138,2	133,7	130,1	127,5	126,3	130,5	138,4	148,7	161,4	176,8	196,7
		10,48	9,277	8,261	7,398	6,683	5,637	5,020	4,760	4,797	5,085	5,597
	0,045	16,05	15,88	15,82	15,70	15,83	15,82	15,68	16,23	17,77	19,41	21,04
		147,6	144,3	142,0	141,4	141,8	147,6	156,3	167,5	181,4	198,4	222,1
		12,92	11,56	10,41	9,437	8,636	7,484	6,840	6,622	6,765	7,220	7,966
	0,050	13,64	13,49	13,40	13,28	13,32	13,22	13,03	13,65	14,77	15,99	17,23
		159,3	157,4	156,4	156,1	157,8	164,4	173,9	186,1	201,2	219,9	247,6
		15,69	14,17	12,90	11,83	10,95	9,718	9,074	8,930	9,216	9,883	10,92
	0,060	10,30	10,18	10,08	09,95	09,91	09,73	09,61	10,12	10,75	11,47	
		186,1	184,9	184,6	186,0	189,0	197,3	208,4	222,6	240,3	264,2	
		22,34	20,55	19,07	17,83	16,84	15,52	14,97	15,08	15,78	17,03	
	0,070	08,15	08,05	07,95	07,84	07,75	07,55	07,61	07,88	08,25	08,68	
		212,5	212,0	212,8	215,7	219,5	229,3	242,3	258,6	279,0	310,5	
		30,73	28,73	27,08	25,73	24,68	23,40	23,07	23,60	24,91	27,00	
	0,080	06,68	06,59	06,49	06,39	06,29	06,17	06,24	0,37	06,58		
		238,8	239,0	241,0	244,7	249,3	260,7	275,5	294,1	320,7		
		41,18	39,01	37,25	35,85	34,80	33,68	33,74	34,88	37,04		
	0,090	05,62	05,55	05,46	05,37	05,31	05,25	05,25	05,29	05,41		
		265,0	266,0	268,8	273,3	278,6	291,7	308,3	330,0	363,4		
		53,97	51,69	49,88	48,49	47,52	46,73	47,36	49,31	52,58		
	0,100	04,88	04,82	04,75	04,69	04,64	04,56	04,51	04,50			$R_{(P)}$
		291,3	293,1	296,1	301,3	307,4	322,1	340,7	369,6			$R_{(W)}$
		69,40	67,07	65,29	63,98	63,16	62,87	64,27	67,30			$R_{(CW)}$

$d/h$	15	$r/h$										
		0,500	0,475	0,450	0,425	0,400	0,350	0,300	0,250	0,200	0,150	0,100
$s/h$	0,018	77,05	77,18	76,80	78,56	80,36	83,86	87,01	89,13	94,50	109,2	122,7
		83,84	78,92	74,45	70,26	66,61	61,29	59,74	64,77	71,22	78,70	87,50
		1,669	1,430	1,231	1,062	0,922	0,709	0,571	0,492	0,462	0,471	0,511
	0,020	66,11	65,98	65,51	66,78	68,05	70,34	72,27	73,44	78,70	89,81	100,2
		84,74	80,28	76,23	72,49	69,61	65,67	67,15	72,65	79,45	87,46	97,10
		1,989	1,717	1,488	1,294	1,132	0,889	0,734	0,649	0,622	0,642	0,700
	0,023	53,73	53,37	52,99	53,63	54,38	55,55	56,40	56,77	61,57	69,23	76,51
		88,07	84,06	80,64	77,64	75,36	73,96	78,30	84,25	91,64	100,5	111,5
		2,514	2,191	1,920	1,689	1,497	1,211	1,034	0,945	0,928	0,971	1,064
	0,026	44,65	44,17	43,85	44,12	44,56	45,09	45,35	45,30	49,56	55,09	60,43
		91,78	88,45	85,91	83,84	82,67	84,43	89,21	95,66	103,7	113,5	125,8
		3,098	2,727	2,414	2,149	1,928	1,604	1,410	1,322	1,323	1,397	1,536
	0,030	35,87	35,33	35,08	35,07	35,26	35,32	35,17	34,89	38,44	42,20	45,92
		98,97	96,62	95,00	94,48	94,67	98,07	103,5	110,6	119,6	130,7	144,8
		3,983	3,550	3,185	2,876	2,622	2,254	2,046	1,971	2,007	2,139	2,359
	0,035	28,29	27,82	27,55	27,37	27,41	27,18	26,80	27,00	29,26	31,71	34,20
		111,1	109,9	109,4	109,3	110,5	114,7	120,9	129,1	139,3	152,0	169,3
		5,285	4,780	4,356	4,000	3,709	3,302	3,093	3,051	3,154	3,386	3,744
	0,040	23,04	22,65	22,37	22,11	22,07	21,72	21,24	21,64	23,12	24,79	26,53
		124,6	123,8	123,7	124,3	126,0	131,1	138,1	147,3	158,8	173,2	194,1
		6,841	6,271	5,796	5,399	5,081	4,651	4,461	4,478	4,677	5,044	5,586
	0,045	19,26	18,92	18,65	18,36	18,28	17,88	17,36	17,83	18,83	19,99	21,24
		138,0	137,6	137,8	139,2	141,3	147,2	155,1	165,3	178,1	194,4	219,0
		8,689	8,062	7,543	7,115	6,778	6,346	6,198	6,300	6,628	7,172	7,952
	0,050	16,43	16,14	15,89	15,59	15,49	15,06	14,54	15,02	15,69	16,51	17,43
		151,3	151,2	152,0	153,9	156,4	163,0	171,9	183,2	197,4	216,6	244,0
		10,87	10,19	9,637	9,187	8,841	8,428	8,349	8,567	9,060	9,829	10,91
	0,060	12,57	12,35	12,12	11,86	11,71	11,29	11,07	11,22	11,51	11,92	
		177,8	178,4	180,2	182,8	186,1	194,3	205,0	218,5	235,5	261,7	
		16,36	15,62	15,02	14,56	14,23	13,93	14,08	14,63	15,58	16,96	
	0,070	10,10	09,92	09,71	09,49	09,33	08,95	08,84	08,83	08,91	09,09	
		204,2	205,6	207,8	211,2	215,2	225,1	237,7	253,5	276,9	307,0	
		23,63	22,85	22,27	21,84	21,58	21,51	22,01	23,06	24,67	26,91	
	0,080	08,40	08,25	08,07	07,88	07,72	07,49	07,32	07,21	07,18		
		230,8	232,8	235,7	239,1	243,9	255,5	270,0	290,5	318,5		
		32,96	32,20	31,68	31,34	31,20	31,50	32,52	34,26	36,76		
	0,090	07,22	07,07	06,94	06,80	06,67	06,43	06,22	06,06	05,96		
		257,4	260,2	263,7	267,8	272,6	285,5	303,3	329,1	360,2		
		44,64	43,96	43,56	43,37	43,43	44,24	45,96	48,60	52,26		
	0,100	06,40	06,26	06,13	05,99	05,87	05,62	05,39	05,21			$R_{(P)}$
		284,1	287,6	291,9	296,8	302,4	316,0	339,4	367,9			$R_{(W)}$
		58,97	58,43	58,21	58,25	58,58	60,09	62,70	66,49			$R_{(CW)}$

$d/h$	20	$r/h$										
		0,500	0,475	0,450	0,425	0,400	0,350	0,300	0,250	0,200	0,150	0,100
$s/h$	0,018	89,16	88,68	87,62	88,77	89,68	91,44	92,80	93,12	99,71	111,9	123,6
		67,37	64,44	61,94	59,77	58,42	58,02	61,25	65,72	71,31	78,08	86,53
		1,165	1,017	0,893	0,787	0,699	0,569	0,489	0,449	0,443	0,465	0,510
0,020	76,03	75,36	74,32	75,05	75,56	76,42	76,94	76,71	82,66	91,91	100,9	
	69,87	67,52	65,65	64,14	63,44	64,93	68,45	73,25	79,28	86,67	96,01	
	1,395	1,228	1,088	0,969	0,870	0,725	0,639	0,600	0,601	0,636	0,699	
0,023	61,40	60,61	59,76	59,98	60,13	60,21	60,04	59,39	64,42	70,77	77,05	
	75,43	73,76	72,67	72,41	72,62	75,09	79,07	84,41	91,14	99,50	110,2	
	1,783	1,590	1,427	1,289	1,176	1,012	0,919	0,886	0,903	0,963	1,063	
0,026	50,84	50,02	49,32	49,25	49,21	48,89	48,37	47,58	51,77	56,31	60,89	
	82,72	81,82	81,42	81,40	82,09	85,06	89,52	95,44	102,9	112,3	124,3	
	2,231	2,012	1,829	1,674	1,548	1,370	1,277	1,255	1,295	1,388	1,534	
0,030	40,81	40,01	39,45	39,19	39,01	38,43	37,69	37,47	40,17	43,19	46,31	
	93,64	93,03	92,93	93,34	94,52	98,11	103,3	110,0	118,5	129,2	143,7	
	2,935	2,686	2,477	2,304	2,164	1,974	1,888	1,892	1,974	2,128	2,356	
0,035	32,28	31,62	31,11	30,74	30,50	29,79	28,96	29,03	30,64	32,53	34,56	
	107,1	106,8	107,1	108,2	109,8	114,2	120,2	128,0	137,8	150,3	168,2	
	4,015	3,732	3,499	3,307	3,156	2,965	2,904	2,958	3,115	3,373	3,740	
0,040	26,44	25,90	25,42	25,02	24,75	24,01	23,16	23,36	24,32	25,52	26,86	
	120,4	120,5	121,3	122,8	124,8	130,0	136,9	145,8	157,0	171,3	192,7	
	5,353	5,042	4,790	4,587	4,433	4,258	4,242	4,370	4,631	5,029	5,582	
0,045	22,25	21,79	21,36	20,95	20,68	19,95	19,12	19,34	19,89	20,65	21,55	
	133,7	134,2	135,4	137,3	139,6	145,6	153,5	163,5	176,1	193,4	217,4	
	6,985	6,655	6,392	6,186	6,037	5,897	5,949	6,177	6,576	7,155	7,947	
0,050	19,13	18,74	18,34	17,94	17,68	16,97	16,30	16,38	16,66	17,12	17,72	
	146,9	147,8	149,3	151,6	154,3	161,1	169,9	181,1	195,1	215,6	242,1	
	8,949	8,607	8,342	8,142	8,008	7,925	8,069	8,428	9,002	9,808	10,90	
0,060	14,86	14,55	14,22	13,85	13,60	12,95	12,56	12,39	12,36	12,46		
	173,5	175,0	177,2	179,8	183,3	191,8	202,5	215,9	235,1	260,2		
	14,02	13,68	13,44	13,29	13,21	13,32	13,74	14,46	15,51	16,93		
0,070	12,10	11,85	11,56	11,26	11,00	10,51	10,15	09,67	09,67	09,59		
	200,1	202,4	205,2	208,5	212,3	222,1	234,7	252,3	276,0	305,0		
	20,87	20,58	20,40	20,34	20,38	20,79	21,61	22,86	24,59	26,87		
0,080	10,19	09,98	09,73	09,51	09,29	08,87	08,48	07,87	07,87			
	226,8	229,8	233,4	237,4	242,0	253,1	268,0	290,2	317,1			
	29,79	29,58	29,53	29,61	29,82	30,67	32,05	34,02	36,65			
0,090	08,91	08,71	08,49	08,28	08,07	07,66	07,27	06,60	06,60			
	253,7	257,4	261,6	266,4	271,8	284,7	303,5	328,4	358,5			
	41,06	41,00	41,13	41,42	41,87	43,30	45,43	48,33	52,13			
0,100	07,93	07,73	07,53	07,33	07,14	06,74	06,35	06,35			$R_{(P)}$	
	280,7	285,0	290,0	295,5	301,7	316,3	339,2	366,7			$R_{(W)}$	
	54,98	55,13	55,51	56,07	56,84	59,03	62,11	66,18			$R_{(CW)}$	

$d/h$	30	$r/h$										
		0,500	0,475	0,450	0,425	0,400	0,350	0,300	0,250	0,200	0,150	0,100
$s/h$	0,018	107,5	105,9	103,8	103,9	103,5	102,7	101,6	99,64	106,5	115,8	125,2
		57,01	56,47	56,27	56,32	56,80	58,77	61,75	65,74	70,80	77,19	85,46
		0,723	0,653	0,595	0,546	0,506	0,449	0,421	0,415	0,429	0,460	0,509
	0,020	91,40	89,87	87,98	87,84	87,21	86,02	84,61	82,49	88,29	95,19	102,3
		62,50	62,10	62,05	62,28	63,00	65,27	68,59	72,98	78,56	85,64	94,83
		0,885	0,808	0,744	0,691	0,647	0,589	0,562	0,561	0,585	0,631	0,698
	0,023	73,88	72,42	70,91	70,45	69,73	68,24	66,58	65,01	68,94	73,48	78,30
		70,61	70,44	70,61	71,20	72,15	74,89	78,74	83,77	90,15	98,27	109,0
		1,172	1,086	1,015	0,956	0,909	0,849	0,828	0,841	0,885	0,957	1,061
	0,026	61,46	60,12	58,87	58,26	57,51	55,92	54,18	53,13	55,63	58,67	62,02
		78,65	78,70	79,13	80,00	81,18	84,40	88,80	94,47	101,7	110,9	123,4
		1,521	1,427	1,350	1,287	1,239	1,182	1,172	1,203	1,273	1,381	1,533
	0,030	49,80	48,64	47,60	46,91	46,18	44,58	42,85	42,15	43,47	45,25	47,35
		89,30	89,65	90,42	91,59	93,08	96,96	102,1	108,7	117,0	127,6	142,8
		2,094	1,992	1,910	1,846	1,799	1,753	1,766	1,831	1,949	2,120	2,354
	0,035	39,96	39,03	38,13	37,42	36,74	35,21	33,55	33,04	33,51	34,36	35,50
		102,6	103,3	104,4	105,9	107,8	112,5	118,6	126,3	136,0	148,8	167,0
		3,013	2,905	2,823	2,761	2,722	2,703	2,759	2,887	3,086	3,364	3,738
	0,040	33,23	32,45	31,66	30,97	30,34	28,90	27,34	26,91	26,89	27,18	27,74
		115,8	116,9	118,3	120,1	122,4	127,9	134,9	143,8	154,9	170,7	191,3
		4,191	4,084	4,007	3,956	3,931	3,956	4,075	4,287	4,597	5,018	5,579
	0,045	28,37	27,71	27,00	26,34	25,76	24,42	23,10	22,56	22,25	22,19	22,38
		129,1	130,5	132,3	134,4	136,8	143,2	151,2	161,2	174,2	192,5	215,7
		5,665	5,565	5,502	5,468	5,466	5,554	5,759	6,083	6,537	7,142	7,943
	0,050	24,73	24,15	23,51	22,89	22,35	21,10	20,01	19,34	18,85	18,57	18,51
		142,4	144,2	146,3	148,8	151,6	158,5	167,4	178,5	194,2	214,5	240,2
		7,472	7,388	7,346	7,339	7,370	7,541	7,858	8,324	8,958	9,793	10,89
	0,060	19,65	19,19	18,66	18,10	17,64	16,58	15,73	14,95	14,28	13,76	
		169,2	171,6	174,5	177,6	181,2	189,8	200,5	214,8	234,5	258,6	
		12,24	12,21	12,24	12,31	12,44	12,86	13,48	14,33	15,46	16,91	
	0,070	16,29	15,91	15,46	15,01	14,59	13,75	12,92	12,13	11,40	10,77	
		196,0	199,1	202,7	206,6	211,0	221,3	234,0	252,2	274,9	303,0	
		18,77	18,84	18,99	19,20	19,47	20,24	21,31	22,71	24,52	26,85	
	0,080	14,04	13,67	13,29	12,91	12,52	11,74	10,96	10,18	09,44		
		223,1	226,8	231,1	235,7	240,9	252,9	268,4	289,7	315,6		
		27,38	27,60	27,91	28,30	28,78	30,04	31,71	33,85	36,58		
	0,090	12,35	12,01	11,67	11,32	10,96	10,24	09,50	08,76	08,04		
		250,2	254,6	259,6	265,0	270,9	284,7	303,5	327,5	356,5		
		38,35	38,76	39,30	39,94	40,70	42,59	45,04	48,13	52,04		
	0,100	11,02	10,71	10,39	10,07	09,75	09,07	08,38	07,68			$R_{(P)}$
		277,5	282,6	288,2	294,3	301,1	316,6	338,9	365,4			$R_{(W)}$
		51,97	52,64	53,48	54,43	55,53	58,24	61,67	65,96			$R_{(CW)}$

$d/h$	45	$r/h$										
		0,500	0,475	0,450	0,425	0,400	0,350	0,300	0,250	0,200	0,150	0,100
$s/h$	0,018	130,3	127,6	124,3	123,3	121,4	117,9	114,2	110,1	115,1	121,2	128,0
		54,27	54,36	54,69	55,29	56,09	58,29	61,30	65,19	70,13	76,45	84,71
		0,494	0,464	0,441	0,421	0,406	0,389	0,387	0,398	0,422	0,458	0,508
	0,020	111,6	109,1	106,4	105,2	103,3	99,82	96,14	92,80	95,90	100,0	104,8
		59,60	59,84	60,34	61,08	62,04	64,57	67,95	72,28	77,78	84,81	94,22
		0,625	0,594	0,569	0,549	0,535	0,521	0,524	0,543	0,577	0,628	0,697
	0,023	91,35	89,14	86,92	85,60	83,90	80,52	76,95	74,30	75,61	77,78	80,95
		67,57	68,03	68,73	69,70	70,89	73,91	77,86	82,88	89,22	97,32	108,6
		0,868	0,835	0,810	0,791	0,778	0,770	0,785	0,820	0,876	0,955	1,061
	0,026	77,02	75,08	73,20	71,86	70,29	67,08	63,68	61,42	61,66	62,60	64,14
		75,53	76,20	77,11	78,26	79,67	83,20	87,72	93,43	100,6	109,8	122,9
		1,172	1,139	1,115	1,098	1,089	1,092	1,122	1,179	1,263	1,378	1,532
	0,030	63,51	61,91	60,28	58,98	57,57	54,60	51,45	49,50	48,88	48,82	49,30
		86,14	87,09	88,29	89,67	91,31	95,51	100,8	107,4	115,8	126,9	142,1
		1,687	1,656	1,636	1,625	1,623	1,648	1,708	1,803	1,937	2,116	2,353
	0,035	51,98	50,67	49,27	48,05	46,80	44,13	41,26	39,53	38,35	37,59	37,29
		99,43	100,7	102,3	104,0	106,0	110,9	117,1	124,9	134,6	148,5	166,2
		2,533	2,509	2,499	2,501	2,515	2,579	2,691	2,853	3,072	3,359	3,737
	0,040	43,95	42,85	41,63	40,49	39,38	36,95	34,44	32,75	31,30	30,16	29,40
		112,7	114,4	116,3	118,4	120,8	126,5	133,7	142,5	154,3	170,2	190,3
		3,638	3,628	3,635	3,656	3,693	3,813	3,997	4,249	4,581	5,013	5,578
	0,045	38,06	37,1	36,03	34,98	33,97	31,75	29,62	27,89	26,31	24,96	23,94
		126,1	128,0	130,3	132,8	135,6	142,2	150,3	160,4	174,1	191,9	214,5
		5,040	5,050	5,082	5,130	5,197	5,393	5,671	6,040	6,519	7,136	7,941
	0,050	33,57	32,72	31,75	30,78	29,86	27,83	25,97	24,24	22,62	21,17	19,98
		139,5	141,6	144,4	147,2	150,4	157,8	167,0	178,2	194,0	213,7	238,8
		6,777	6,814	6,878	6,961	7,070	7,362	7,759	8,275	8,938	9,786	10,89
	0,060	27,17	26,48	25,68	24,84	24,06	22,43	20,81	19,18	17,58	16,07	14,74
		166,4	169,3	172,6	176,2	180,1	189,3	200,5	214,9	233,9	257,5	
		11,40	11,52	11,67	11,86	12,08	12,64	13,36	14,28	15,43	16,91	
	0,070	22,93	22,29	21,62	20,94	20,25	18,82	17,35	15,84	14,33	12,85	
		193,5	197,0	201,0	205,3	210,0	220,9	234,1	252,0	274,1	301,6	
		17,79	18,04	18,33	18,66	19,05	19,99	21,17	22,64	24,49	26,84	
	0,080	19,89	19,31	18,72	18,12	17,50	16,21	14,87	13,49	12,07		
		220,7	224,9	229,6	234,6	240,1	252,7	268,5	289,3	314,5		
		26,26	26,67	27,15	27,69	28,30	29,75	31,54	33,77	36,54		
	0,090	17,55	17,04	16,50	15,96	15,40	14,24	13,02	11,74	10,42		
		248,0	252,9	258,2	264,0	270,3	284,7	303,4	326,7	355,1		
		37,09	37,72	38,45	39,25	40,15	42,26	44,85	48,04	52,00		
	0,100	15,70	15,24	14,75	14,26	13,75	12,69	11,57	10,39			$R_{(P)}$
		275,5	281,0	287,1	293,5	300,6	316,8	338,5	364,4			$R_{(W)}$
		50,57	51,49	52,53	53,66	54,93	57,87	61,46	65,85			$R_{(CW)}$



$d/h$	60	$r/h$										
		0,500	0,475	0,450	0,425	0,400	0,350	0,300	0,250	0,200	0,150	0,100
$s/h$	0,018	152,6	149,0	144,9	142,8	139,7	133,9	127,8	122,1	123,8	126,9	131,1
		52,69	53,09	53,67	54,43	55,37	57,74	60,83	64,74	69,70	76,03	84,55
		0,407	0,393	0,382	0,374	0,369	0,367	0,375	0,392	0,419	0,457	0,508
	0,020	131,9	128,6	125,2	123,0	120,1	114,6	108,7	103,8	103,9	105,3	107,7
		57,99	58,53	59,26	60,13	61,22	63,93	67,40	71,78	77,30	84,35	94,06
		0,528	0,514	0,504	0,497	0,493	0,495	0,510	0,536	0,575	0,627	0,697
	0,023	109,4	106,5	103,6	101,5	98,95	93,80	88,37	84,09	82,88	82,63	83,29
		65,95	66,69	67,63	68,71	69,98	73,17	77,23	82,30	88,68	96,81	108,3
		0,755	0,742	0,734	0,729	0,729	0,741	0,769	0,812	0,873	0,954	1,061
	0,026	93,26	90,83	88,30	86,25	83,94	79,19	74,14	70,31	68,32	67,09	66,65
		73,90	74,85	76,01	77,31	78,80	82,43	87,01	92,78	100,0	109,6	122,7
		1,043	1,033	1,028	1,028	1,033	1,059	1,104	1,170	1,260	1,377	1,532
	0,030	77,89	75,86	73,67	71,76	69,72	65,44	60,86	57,44	54,90	52,92	51,61
		84,53	85,75	87,18	88,77	90,58	94,88	100,2	106,9	115,2	126,8	141,8
		1,537	1,533	1,535	1,544	1,559	1,609	1,687	1,793	1,933	2,115	2,353
	0,035	64,56	62,88	61,01	59,28	57,50	53,70	49,62	46,56	43,75	41,32	39,42
		97,85	99,39	101,2	103,1	105,3	110,5	116,8	124,7	134,6	148,3	165,8
		2,358	2,365	2,382	2,406	2,440	2,534	2,666	2,841	3,067	3,357	3,736
	0,040	55,14	53,70	52,07	50,49	48,92	45,52	42,06	39,07	36,20	33,59	31,38
		111,2	113,1	115,2	117,5	120,1	126,1	133,5	142,5	154,3	169,9	189,8
		3,438	3,462	3,500	3,547	3,606	3,761	3,969	4,235	4,576	5,011	5,577
	0,045	48,13	46,87	45,43	43,99	42,58	39,50	36,48	33,61	30,79	28,13	25,78
		124,6	126,8	129,3	131,9	134,9	141,8	150,1	160,4	174,0	191,6	213,9
		4,814	4,864	4,929	5,007	5,100	5,335	5,639	6,025	6,512	7,133	7,940
	0,050	42,71	41,59	40,30	38,97	37,70	34,89	32,21	29,48	26,75	24,11	21,72
		138,1	140,6	143,4	146,4	149,7	157,5	166,9	178,3	193,9	213,3	238,1
		6,525	6,607	6,708	6,825	6,962	7,297	7,723	8,258	8,930	9,784	10,89
	0,060	34,92	33,97	32,90	31,80	30,71	28,45	26,09	23,65	21,14	18,65	
		165,1	168,2	171,7	175,4	179,6	189,0	200,4	214,9	233,7	257,0	
		11,09	11,27	11,47	11,69	11,95	12,56	13,32	14,25	15,42	16,90	
	0,070	29,66	28,79	27,88	26,95	26,00	24,01	21,92	19,73	17,46	15,15	
		192,2	196,0	200,2	204,6	209,5	220,7	234,2	251,9	273,7	300,9	
		17,44	17,74	18,09	18,47	18,90	19,89	21,12	22,62	24,48	26,83	
	0,080	25,78	25,01	24,21	23,39	22,54	20,77	18,91	16,93	14,87		
		219,5	223,9	228,8	234,0	239,7	252,6	268,5	289,0	314,0		
		25,86	26,34	26,88	27,47	28,12	29,64	31,49	33,74	36,53		
	0,090	22,79	22,10	21,38	20,65	19,89	18,30	16,62	14,83	12,94		
		247,0	252,0	257,6	263,5	269,9	284,6	303,3	326,3	354,4		
		36,64	37,35	38,15	39,01	39,95	42,14	44,79	48,01	51,99		
	0,100	20,42	19,79	19,15	18,48	17,80	16,36	14,82	13,19			$R_{(P)}$
		274,5	280,2	286,5	293,1	300,3	316,8	338,3	363,9			$R_{(W)}$
		50,06	51,07	52,19	53,39	54,71	57,74	61,39	65,81			$R_{(CW)}$

$d/h$	$r/h$											
	100	0,500	0,475	0,450	0,425	0,400	0,350	0,300	0,250	0,200	0,150	0,100
$s/h$	0,018	215,5	209,6	203,5	198,6	192,7	180,9	168,4	156,9	150,0	144,7	141,2
		50,69	51,42	52,29	53,24	54,33	56,92	60,13	64,12	69,13	75,49	84,38
		0,333	0,332	0,332	0,334	0,337	0,348	0,364	0,387	0,418	0,457	0,508
	0,020	189,4	184,3	178,7	174,1	168,8	157,9	146,3	135,8	128,3	122,0	117,2
		55,99	56,86	57,86	58,96	60,20	63,13	66,74	71,21	76,79	83,97	93,85
		0,445	0,445	0,448	0,452	0,457	0,474	0,498	0,531	0,572	0,627	0,697
	0,023	160,3	155,9	151,2	146,9	142,2	132,5	122,1	112,7	104,9	97,86	92,03
		63,96	65,02	66,23	67,54	69,01	72,45	76,66	81,84	88,31	96,74	108,1
		0,659	0,663	0,669	0,677	0,688	0,717	0,755	0,806	0,870	0,953	1,060
	0,026	139,0	135,2	131,0	127,1	122,9	114,2	104,8	96,26	88,46	81,16	74,81
		71,94	73,19	74,61	76,14	77,83	81,78	86,59	92,50	99,84	109,5	122,3
		0,934	0,943	0,955	0,969	0,986	1,031	1,089	1,163	1,257	1,376	1,532
	0,030	118,1	114,9	111,2	107,8	104,1	96,38	88,05	80,49	72,98	65,72	59,12
		82,61	84,11	85,80	87,61	89,62	94,25	99,86	106,7	115,3	126,6	141,4
		1,411	1,429	1,450	1,475	1,505	1,577	1,669	1,784	1,929	2,114	2,353
	0,035	99,48	96,77	93,67	90,59	87,45	80,72	73,62	66,77	59,78	52,83	46,27
		95,99	97,80	99,83	102,0	104,4	109,9	116,5	124,6	134,7	148,1	165,2
		2,210	2,243	2,282	2,326	2,376	2,496	2,646	2,831	3,063	3,356	3,736
	0,040	85,98	83,63	80,29	78,18	75,41	69,46	63,29	57,05	50,58	44,03	37,69
		109,4	111,5	113,9	116,4	119,2	125,5	133,2	142,4	154,3	169,6	189,2
		3,269	3,323	3,386	3,456	3,534	3,718	3,945	4,224	4,571	5,009	5,577
	0,045	75,73	73,65	71,25	68,78	66,32	60,99	55,51	49,80	43,82	37,69	31,64
		122,9	125,3	128,0	130,9	134,0	141,2	149,9	160,4	173,9	191,1	213,2
		4,624	4,707	4,801	4,904	5,019	5,286	5,612	6,011	6,507	7,132	7,940
	0,050	67,67	65,82	63,66	61,42	59,19	54,40	49,44	44,18	38,65	32,92	27,17
		136,4	139,1	142,2	145,4	148,9	157,0	166,7	178,4	193,7	212,8	237,3
		6,313	6,432	6,566	6,711	6,871	7,243	7,693	8,243	8,924	9,782	10,89
	0,060	55,96	54,29	52,50	50,64	48,75	44,79	40,57	36,07	31,28	26,25	
		163,5	166,9	170,6	174,5	178,8	188,6	200,3	214,9	233,3	256,3	
		10,84	11,06	11,30	11,56	11,84	12,49	13,28	14,24	15,42	16,90	
	0,070	47,70	46,23	44,70	43,12	41,50	38,07	34,40	30,47	26,27	21,81	
		190,8	194,8	199,2	203,8	208,9	220,4	234,2	251,7	273,2	300,0	
		17,15	17,50	17,89	18,31	18,77	19,82	21,07	22,60	24,47	26,83	
	0,080	41,57	40,27	38,93	37,55	36,11	33,10	29,86	26,39	22,65		
		218,2	222,8	227,9	233,3	239,1	252,4	268,5	288,7	313,3		
		25,52	26,06	26,65	27,29	27,98	29,55	31,44	33,71	36,52		
	0,090	36,82	35,67	34,47	33,24	31,96	29,27	26,38	23,26	19,91		
		245,7	251,0	256,8	262,9	269,5	284,6	303,2	325,8	353,6		
		36,26	37,03	37,89	38,80	39,79	42,05	44,73	47,98	51,97		
	0,100	33,04	32,00	30,93	29,82	28,67	26,24	23,62	20,80			$R_{(P)}$
		273,4	279,3	285,8	292,6	300,0	316,9	338,0	363,2			$R_{(W)}$
		49,64	50,72	51,90	53,16	54,52	57,63	61,32	65,78			$R_{(CW)}$

Таблиця Д.2. Розрахункові значення коефіцієнтів  $R_{(P)}$ ,  $R_{(W)}$  для визначення напруження на боці меншого діаметра компенсатора за ГОСТ 30780–2002

$d/h$	3,0	$r/h$										
		0,500	0,475	0,450	0,425	0,400	0,350	0,300	0,250	0,200	0,150	0,100
$s/h$	0,018	3,834	4,164	4,680	5,433	6,450	9,555	15,05	25,21	44,77	78,15	117,5
		33,75	31,85	31,85	32,49	33,54	37,60	41,62	42,78	42,85	62,79	91,60
	0,020	3,232	3,547	4,042	4,766	5,741	8,724	13,97	23,53	40,80	67,83	97,03
		43,39	41,45	41,10	41,12	41,45	45,74	48,23	47,99	51,30	74,21	103,8
	0,023	2,438	2,768	3,280	4,010	5,056	8,019	12,81	21,34	35,47	55,30	74,71
		58,54	55,89	54,57	53,43	54,61	57,10	57,24	55,42	65,09	91,46	121,7
	0,026	2,286	2,702	3,291	4,043	4,988	7,593	11,89	19,37	30,84	45,60	59,07
		73,27	69,58	67,11	66,61	67,23	67,36	65,35	62,82	79,76	108,6	139,2
	0,030	2,590	2,972	3,488	4,138	4,954	7,206	10,82	16,98	25,66	35,87	44,81
		91,30	86,13	84,19	83,31	82,36	79,45	75,27	78,42	100,1	131,1	162,2
	0,035	2,871	3,218	3,669	4,228	4,925	6,836	9,699	14,37	20,57	27,30	33,88
		110,9	106,5	104,2	101,4	98,64	92,61	87,19	100,1	125,9	158,6	190,4
	0,040	3,054	3,368	3,767	4,256	4,858	6,489	8,872	12,24	16,68	21,77	26,51
		129,7	125,1	121,2	116,8	112,6	104,5	104,9	122,8	151,5	185,4	218,2
	0,045	3,154	3,439	3,793	4,221	4,743	6,132	8,110	10,80	14,19	17,91	21,32
		147,0	141,1	135,8	130,2	124,9	116,0	124,7	146,1	176,9	211,7	245,7
	0,050	3,192	3,448	3,762	4,136	4,588	5,769	7,408	9,568	12,19	14,98	17,53
		162,0	155,0	148,6	142,1	136,3	132,5	145,2	169,4	201,8	237,4	272,8
	0,060	3,140	3,344	3,586	3,870	4,206	5,058	6,188	7,606	9,243	10,94	
		187,0	178,6	171,2	164,2	162,3	169,0	187,4	215,6	250,2	287,6	
	0,070	2,99	3,150	3,335	3,549	3,797	4,412	5,203	6,163	7,242	8,346	
		208,4	199,8	195,3	193,8	195,3	207,1	229,6	260,6	297,1	336,6	
	0,080	2,802	2,924	3,063	3,224	3,407	3,854	4,417	5,087	5,831		
		231,0	226,5	224,9	225,8	229,6	245,5	271,2	304,3	342,6		
0,090	2,601	2,694	2,799	2,919	3,055	3,383	3,790	4,271	4,803			
	257,3	254,9	255,5	258,5	264,3	283,6	311,8	346,9	387,0			
0,100	2,406	2,476	2,555	2,644	2,746	2,988	3,288	3,641			$R_{(P)}$	
	284,2	283,9	286,5	291,4	298,9	321,1	351,5	388,3			$R_{(W)}$	

<i>d/h</i>	3,5	<i>r/h</i>											
		0,500	0,475	0,450	0,425	0,400	0,350	0,300	0,250	0,200	0,150	0,100	
<i>s/h</i>	0,018	3,580	4,017	4,705	5,693	7,007	10,96	17,81	30,09	51,75	84,70	119,2	
		40,17	38,37	37,94	37,79	39,25	42,55	43,99	43,19	47,09	67,28	92,30	
	0,020	2,880	3,350	4,066	5,065	6,435	10,29	16,74	27,95	46,49	72,51	97,86	
		50,24	47,95	46,85	47,06	48,31	50,10	49,93	48,11	56,28	78,58	104,0	
	0,023	2,729	3,292	4,069	5,049	6,268	9,595	15,41	25,01	39,60	58,15	74,87	
		64,94	61,60	60,87	60,91	61,01	60,36	58,02	55,72	70,83	95,41	121,2	
	0,026	3,066	3,575	4,260	5,119	6,190	9,126	14,22	22,34	33,82	47,34	58,95	
		78,53	75,62	74,71	73,57	72,44	69,45	65,43	67,66	85,87	112,0	138,1	
	0,030	3,413	3,869	4,466	5,207	6,129	8,654	12,74	19,17	27,59	36,79	45,10	
		96,65	93,56	91,15	88,44	85,79	80,15	74,92	84,79	106,2	133,6	160,3	
	0,035	3,699	4,102	4,616	5,247	6,025	8,129	11,21	15,85	21,69	27,85	33,95	
		117,5	112,7	108,0	104,2	99,96	92,11	92,15	107,3	131,5	160,0	187,6	
	0,040	3,849	4,207	4,653	5,194	5,853	7,606	10,09	13,47	17,68	22,28	26,49	
		134,9	128,7	123,2	117,5	112,2	103,7	112,0	130,3	156,4	185,7	214,6	
	0,045	3,898	4,214	4,600	5,064	5,622	7,079	9,089	11,72	14,88	18,22	21,26	
		149,6	142,3	135,7	129,3	123,5	121,2	132,5	153,3	180,8	210,9	241,3	
	0,050	3,876	4,153	4,486	4,882	5,353	6,562	8,189	10,26	12,67	15,18	17,45	
		162,3	154,2	147,0	140,2	135,5	139,5	153,4	176,1	204,7	235,7	267,8	
	0,060	3,702	3,911	4,156	4,442	4,776	5,611	6,690	8,008	9,492	11,01		
		184,1	175,5	169,9	167,9	168,5	177,3	195,8	220,8	251,2	284,3		
	0,070	3,446	3,600	3,779	3,984	4,221	4,802	5,534	6,409	7,379	8,369		
		206,5	202,0	200,0	200,2	202,9	215,5	236,6	264,2	296,3	331,8		
	0,080	3,169	3,282	3,410	3,558	3,727	4,135	4,644	5,246	5,911			
		233,6	231,0	231,0	233,1	237,6	253,4	276,8	306,2	340,2			
	0,090	2,900	2,982	3,074	3,180	3,301	3,591	3,952	4,379	4,852			
		261,3	260,6	262,4	266,2	272,2	290,5	316,0	347,1	383,1			
	0,100	2,652	2,710	2,776	2,852	2,938	3,147	3,408	3,718				$R_{(P)}$
		289,4	290,3	293,7	299,0	306,3	326,9	354,1	387,1				$R_{(W)}$

$d/h$	4,0	$r/h$											
		0,500	0,475	0,450	0,425	0,400	0,350	0,300	0,250	0,200	0,150	0,100	
$s/h$	0,018	3,231	3,881	4,846	6,177	7,952	12,76	20,98	34,98	57,89	89,62	120,1	
		45,55	43,42	43,14	43,81	44,63	45,70	45,12	43,23	51,02	70,57	92,47	
	0,020	3,105	3,859	4,884	6,164	7,740	12,08	19,73	32,18	51,31	75,90	98,19	
		55,37	53,25	53,21	53,14	53,17	52,58	50,53	48,10	60,63	81,64	103,8	
	0,023	3,586	4,243	5,120	6,214	7,569	11,29	18,03	28,34	42,94	60,11	74,81	
		70,38	68,44	67,31	66,02	64,80	61,81	57,99	59,74	75,49	97,99	120,4	
	0,026	3,966	4,555	5,328	6,288	7,478	10,73	16,45	24,91	36,13	48,49	58,93	
		85,25	82,24	79,94	77,44	75,03	69,96	65,08	72,46	90,55	114,0	136,9	
	0,030	4,327	4,848	5,517	6,342	7,359	10,12	14,49	20,98	29,01	37,34	45,26	
		102,7	98,30	94,54	90,58	86,82	79,70	77,89	90,21	110,6	134,9	158,5	
	0,035	4,580	5,033	5,600	6,291	7,134	9,385	12,59	17,01	22,48	28,48	33,97	
		121,0	115,0	109,7	104,4	99,42	91,10	97,48	113,0	135,3	160,4	185,2	
	0,040	4,669	5,061	5,543	6,122	6,822	8,651	11,18	14,48	18,45	22,65	26,45	
		136,0	128,8	122,5	116,2	110,7	108,3	117,9	135,8	159,4	185,3	211,6	
	0,045	4,645	4,982	5,390	5,875	6,453	7,937	9,931	12,46	15,40	18,44	21,20	
		148,6	140,7	133,7	127,1	123,2	126,7	138,7	158,3	183,0	209,8	237,7	
	0,050	4,547	4,835	5,178	5,583	6,060	7,265	8,847	10,80	13,03	15,31	17,39	
		159,7	151,4	144,2	140,2	139,8	145,5	159,6	180,6	206,1	233,9	263,7	
	0,060	4,235	4,441	4,681	4,961	5,285	6,085	7,102	8,322	9,678	11,06		
		180,5	175,6	173,1	172,4	174,0	183,5	200,7	223,9	251,1	281,2		
	0,070	3,867	4,011	4,178	4,371	4,592	5,131	5,804	6,602	7,484	8,387		
		208,1	205,0	204,3	205,4	208,7	221,3	240,8	265,8	294,8	327,6		
	0,080	3,504	3,604	3,719	3,852	4,004	4,372	4,830	5,373	5,975			
		236,2	234,9	235,8	238,5	243,3	258,4	279,8	306,4	337,5			
	0,090	3,170	3,239	3,318	3,409	3,514	3,768	4,087	4,468	4,895			
		264,6	264,8	267,2	271,3	277,3	294,5	317,7	346,1	379,4			
	0,100	2,874	2,920	2,973	3,035	3,107	3,285	3,511	3,784				$R_{(P)}$
		292,9	294,6	298,3	303,6	310,7	329,8	354,7	384,9				$R_{(W)}$

$d/h$	5,0	$r/h$										
		0,500	0,475	0,450	0,425	0,400	0,350	0,300	0,250	0,200	0,150	0,100
$s/h$	0,018	4,559	5,621	7,016	8,737	10,84	17,20	27,69	44,00	67,65	96,11	120,7
		55,71	53,89	52,86	51,79	50,84	48,57	45,54	45,61	57,41	74,72	92,14
	0,020	5,056	6,000	7,235	8,763	10,64	16,36	25,72	39,63	58,64	80,18	98,19
		66,21	63,65	61,82	59,89	58,10	54,29	50,31	53,86	67,26	85,26	102,9
	0,023	5,637	6,458	7,519	8,830	10,45	15,15	22,94	33,84	47,72	62,44	74,64
		80,44	76,74	73,72	70,59	67,65	61,97	58,18	66,84	82,06	100,8	118,9
	0,026	6,034	6,764	7,695	8,837	10,24	14,03	20,38	28,96	39,28	49,75	59,41
		92,79	88,03	83,93	79,77	75,90	68,97	69,57	80,20	96,72	115,9	134,7
	0,030	6,327	6,959	7,748	8,708	9,876	12,97	17,37	23,66	30,84	38,33	45,42
		106,6	100,7	95,41	90,23	85,53	79,49	85,50	98,20	115,9	135,7	155,5
	0,035	6,419	6,944	7,588	8,360	9,288	11,69	14,97	19,18	24,14	29,30	33,96
		120,6	113,6	107,4	101,5	96,44	97,57	106,0	120,6	139,4	160,0	181,3
	0,040	6,313	6,747	7,269	7,889	8,624	10,49	12,96	16,03	19,54	23,12	26,38
		132,2	124,6	118,0	113,4	112,6	116,3	126,6	142,5	162,2	183,8	206,9
	0,045	6,095	6,449	6,870	7,366	7,947	9,401	11,28	13,57	16,12	18,72	21,11
		142,3	134,6	131,3	129,6	129,7	135,2	147,1	164,1	184,6	207,2	232,3
	0,050	5,816	6,104	6,442	6,838	7,298	8,435	9,882	11,61	13,53	15,49	17,30
		153,5	149,3	146,9	146,1	147,0	154,1	167,3	185,2	206,5	230,3	257,5
	0,060	5,203	5,390	5,606	5,857	6,147	6,855	7,741	8,789	9,946	11,13	
		182,1	179,4	178,6	179,3	181,7	191,4	206,6	226,3	249,4	276,0	
	0,070	4,614	4,732	4,869	5,029	5,214	5,663	6,228	6,898	7,643	8,421	
		210,8	209,6	210,2	212,3	215,9	227,8	244,8	266,1	291,3	320,9	
	0,080	4,093	4,166	4,251	4,352	4,470	4,760	5,130	5,576	6,081		
		239,6	239,6	241,5	244,7	249,4	263,1	281,8	304,9	332,4		
	0,090	3,646	3,689	3,741	3,803	3,878	4,066	4,313	4,619	4,972		
		268,0	269,3	272,3	276,5	282,2	297,6	317,9	342,9	372,8		
	0,100	3,268	3,291	3,319	3,356	3,402	3,523	3,690	3,903			$R_{(P)}$
		296,0	298,4	302,4	307,6	314,1	331,2	353,2	380,2			$R_{(W)}$

$d/h$	7,0	$r/h$											
		0,500	0,475	0,450	0,425	0,400	0,350	0,300	0,250	0,200	0,150	0,100	
$s/h$	0,018	9,597	11,03	12,85	15,10	17,85	26,99	39,98	57,70	79,57	102,1	120,3	
		66,26	62,59	59,51	56,43	53,59	48,42	47,12	53,93	64,98	78,08	90,85	
	0,020	10,15	11,43	13,04	15,03	17,45	24,97	35,88	50,17	67,03	83,84	98,29	
		74,06	69,69	65,92	62,20	58,80	52,95	54,89	62,77	74,46	87,85	101,1	
	0,023	10,60	11,70	13,06	14,72	16,73	22,08	30,48	40,96	52,75	64,17	75,47	
		83,93	78,70	74,11	69,68	65,74	62,36	66,92	76,02	88,43	102,2	116,3	
	0,026	10,73	11,67	12,82	14,20	15,87	20,19	26,06	33,80	42,41	51,56	59,79	
		92,08	86,24	81,11	76,28	72,39	73,36	79,12	89,14	102,1	116,4	131,4	
	0,030	10,56	11,31	12,23	13,32	14,61	17,90	22,23	27,60	33,69	39,90	45,53	
		101,1	94,84	89,38	86,67	85,97	88,33	95,38	106,3	119,9	135,0	151,4	
	0,035	10,04	10,61	11,30	12,10	13,04	15,39	18,41	22,04	26,08	30,17	33,94	
		110,8	106,8	104,5	103,2	103,3	107,1	115,4	127,3	141,7	157,8	176,3	
	0,040	9,378	9,809	10,31	10,91	11,60	13,29	15,44	17,99	20,79	23,64	26,31	
		125,3	122,2	120,5	119,9	120,6	125,7	135,0	147,7	162,9	180,4	201,0	
	0,045	8,683	9,003	9,377	9,814	10,32	11,56	13,12	14,96	16,98	19,06	21,03	
		140,0	137,5	136,5	136,6	137,9	144,0	154,2	167,7	183,9	202,8	225,8	
	0,050	8,011	8,246	8,521	8,844	9,217	10,13	11,28	12,64	14,15	15,71	17,22	
		154,7	152,8	152,4	153,0	154,9	162,0	173,0	187,3	204,5	224,9	251,9	
	0,060	6,816	6,940	7,085	7,260	7,464	7,974	8,628	9,417	10,31	11,26		
		183,7	183,0	183,7	185,4	188,2	197,1	209,7	225,7	245,2	268,8		
	0,070	5,846	5,904	5,976	6,067	6,177	6,465	6,850	7,331	7,893	8,507		
		212,2	212,6	214,2	216,8	220,5	231,0	245,3	263,2	285,2	314,5		
	0,080	5,071	5,091	5,119	5,162	5,217	5,375	5,604	5,906	6,272			
		240,2	241,5	244,0	247,5	252,0	264,1	280,1	300,0	324,6			
	0,090	4,451	4,448	4,450	4,463	4,485	4,564	4,697	4,887	5,131			
		267,6	269,8	273,2	277,4	282,7	296,4	314,2	336,2	366,5			
	0,100	3,950	3,932	3,919	3,913	3,915	3,944	4,015	4,133				$R_{(P)}$
		294,5	297,5	301,7	306,7	312,8	328,2	347,7	371,9				$R_{(W)}$

$d/h$	10	$r/h$										
		0,500	0,475	0,450	0,425	0,400	0,350	0,300	0,250	0,200	0,150	0,100
$s/h$	0,018	19,18	21,07	23,40	26,22	29,61	39,38	52,93	69,41	87,49	104,8	121,5
		65,73	61,32	57,46	53,82	50,67	50,58	54,22	60,81	69,46	79,08	89,20
	0,020	19,18	20,81	22,79	25,18	28,03	35,36	45,74	58,49	72,18	86,23	99,32
		70,57	65,85	61,74	57,96	57,07	58,03	62,28	69,32	78,28	88,25	99,05
	0,023	18,67	19,97	21,53	23,39	25,58	31,10	38,29	47,08	56,93	66,90	75,98
		76,78	71,84	69,23	67,88	67,47	69,26	74,26	81,85	91,25	101,8	113,8
	0,026	17,83	18,86	20,08	21,52	23,20	27,39	32,75	39,17	46,26	53,44	60,05
		83,47	80,69	78,94	77,96	77,91	80,43	86,03	94,10	104,0	115,3	128,4
	0,030	16,49	17,24	18,11	19,14	20,33	23,27	26,97	31,35	36,16	41,05	45,64
		95,52	93,17	91,87	91,35	91,75	95,10	101,4	110,1	120,7	133,0	147,8
	0,035	14,79	15,28	15,85	16,52	17,31	19,23	21,64	24,49	27,63	30,87	33,97
		110,4	108,6	107,9	107,9	108,8	113,0	120,1	129,6	141,2	155,0	172,0
	0,040	13,21	13,53	13,90	14,35	14,86	16,14	17,76	19,70	21,86	24,12	26,33
		125,1	123,8	123,6	124,1	125,4	130,5	138,4	148,7	161,4	176,8	196,7
	0,045	11,83	12,03	12,27	12,56	12,90	13,76	14,88	16,23	17,77	19,41	21,04
		139,6	138,8	139,0	140,0	141,8	147,6	156,3	167,5	181,4	198,4	222,1
	0,050	10,65	10,76	10,91	11,09	11,32	11,90	12,68	13,65	14,77	15,99	17,23
		153,8	153,5	154,2	155,6	157,8	164,4	173,9	186,1	201,2	219,9	247,6
	0,060	8,760	8,782	8,820	8,882	8,968	9,224	9,608	10,12	10,75	11,47	
		181,7	182,3	183,9	186,0	189,0	197,3	208,4	222,6	240,3	264,2	
	0,070	7,370	7,345	7,329	7,329	7,345	7,434	7,612	7,885	8,249	8,688	
		209,0	210,4	212,8	215,7	219,5	229,3	242,3	258,6	279,0	310,5	
	0,080	6,324	6,275	6,231	6,200	6,178	6,176	6,238	6,372	6,580		
		235,7	237,9	241,0	244,7	249,3	260,7	275,5	294,1	320,7		
	0,090	5,518	5,457	5,399	5,350	5,308	5,254	5,248	5,298	5,407		
		262,0	264,9	268,8	273,3	278,6	291,7	308,3	330,0	363,4		
	0,100	4,882	4,815	4,751	4,693	4,640	4,556	4,508	4,504			$R_{(P)}$
		287,9	291,5	296,1	301,3	307,4	322,1	340,7	369,6			$R_{(W)}$



$d/h$	15	$r/h$											
		0,500	0,475	0,450	0,425	0,400	0,350	0,300	0,250	0,200	0,150	0,100	
$s/h$	0,018	35,91	38,04	40,56	43,54	47,03	55,69	66,74	79,94	94,50	109,2	122,7	
		58,54	56,57	55,32	54,58	54,47	55,99	59,56	64,77	71,22	78,70	87,50	
	0,020	33,95	35,63	37,60	39,94	42,65	49,33	57,76	67,74	78,70	89,81	100,2	
		64,67	62,89	61,83	61,28	61,37	63,27	67,15	72,65	79,45	87,46	97,10	
	0,023	30,90	32,07	33,44	35,05	36,92	41,52	47,28	54,09	61,57	69,23	76,51	
		73,73	72,24	71,47	71,21	71,57	73,96	78,30	84,25	91,64	100,5	111,5	
	0,026	28,01	28,81	29,75	30,87	32,17	35,38	39,43	44,23	49,56	55,09	60,43	
		82,63	81,43	80,94	80,94	81,56	84,43	89,21	95,66	103,7	113,5	125,8	
	0,030	24,59	25,06	25,62	26,31	27,12	29,14	31,75	34,89	38,44	42,20	45,92	
		94,28	93,45	93,30	93,65	94,59	98,07	103,5	110,6	119,6	130,7	144,8	
	0,035	21,06	21,28	21,56	21,92	22,36	23,51	25,06	27,00	29,26	31,71	34,20	
		108,5	108,1	108,4	109,2	110,5	114,7	120,9	129,1	139,3	152,0	169,3	
	0,040	18,26	18,33	18,44	18,61	18,83	19,47	20,41	21,64	23,12	24,79	26,53	
		122,5	122,5	123,2	124,3	126,0	131,1	138,1	147,3	158,8	173,2	194,1	
	0,045	16,02	16,00	16,01	16,07	16,16	16,49	17,04	17,83	18,83	19,99	21,24	
		136,2	136,6	137,7	139,2	141,3	147,2	155,1	165,3	178,1	194,4	219,0	
	0,050	14,21	14,15	14,10	14,08	14,09	14,22	14,52	15,02	15,69	16,51	17,43	
		149,7	150,5	152,0	153,9	156,4	163,0	171,9	183,2	197,4	216,6	244,0	
	0,060	11,52	11,40	11,29	11,20	11,12	11,04	11,07	11,22	11,51	11,92		
		176,4	177,9	180,2	182,8	186,1	194,3	205,0	218,5	235,5	261,7		
	0,070	9,640	9,501	9,367	9,244	9,133	8,952	8,846	8,831	8,913	9,093		
		202,5	204,8	207,8	211,2	215,2	225,1	237,7	253,5	276,9	307,0		
	0,080	8,262	8,120	7,979	7,846	7,720	7,496	7,322	7,214	7,180			
		228,3	231,3	235,0	239,1	243,9	255,5	270,0	290,5	318,5			
	0,090	7,217	7,077	6,937	6,803	6,673	6,430	6,223	6,063	5,960			
		253,8	257,5	261,9	266,7	272,3	285,5	303,3	329,1	360,2			
	0,100	6,399	6,264	6,129	5,997	5,868	5,620	5,397	5,208				$R_{(P)}$
		279,0	283,3	288,4	294,0	300,3	315,4	339,4	367,9				$R_{(W)}$

$d/h$	20	$r/h$											
		0,500	0,475	0,450	0,425	0,400	0,350	0,300	0,250	0,200	0,150	0,100	
$s/h$	0,018	50,86	52,72	54,89	57,46	60,44	67,76	76,94	87,78	99,71	111,9	123,6	
		57,96	56,81	56,21	56,00	56,25	58,02	61,25	65,72	71,31	78,08	86,53	
	0,020	46,65	47,98	49,55	51,42	53,59	58,95	65,72	73,75	82,66	91,91	100,9	
		63,89	62,92	62,49	62,45	62,86	64,93	68,45	73,25	79,28	86,67	96,01	
	0,023	41,03	41,82	42,77	43,92	45,28	48,69	53,09	58,41	64,42	70,77	77,05	
		72,60	71,90	71,73	71,93	72,58	75,09	79,07	84,41	91,14	99,50	110,2	
	0,026	36,29	36,74	37,28	37,98	38,82	41,02	43,94	47,58	51,77	56,31	60,89	
		81,14	80,70	80,77	81,21	82,09	85,06	89,52	95,44	102,9	112,3	124,3	
	0,030	31,17	31,32	31,54	31,87	32,29	33,49	35,21	37,47	40,17	43,19	46,31	
		92,32	92,20	92,59	93,34	94,52	98,11	103,3	110,0	118,5	129,2	143,7	
	0,035	26,26	26,22	26,22	26,28	26,41	26,91	27,78	29,03	30,64	32,53	34,56	
		106,0	106,3	107,1	108,2	109,8	114,2	120,2	128,0	137,8	150,3	168,2	
	0,040	22,56	22,41	22,29	22,22	22,19	22,30	22,68	23,36	24,32	25,52	26,86	
		119,5	120,2	121,3	122,8	124,8	130,0	136,9	145,8	157,0	171,3	192,7	
	0,045	19,70	19,50	19,31	19,16	19,05	18,94	19,02	19,34	19,89	20,65	21,55	
		132,8	133,9	135,4	137,3	139,6	145,6	153,5	163,5	176,1	193,4	217,4	
	0,050	17,44	17,21	16,99	16,80	16,64	16,39	16,30	16,38	16,66	17,12	17,72	
		146,0	147,4	149,3	151,6	154,3	161,1	169,9	181,1	195,1	215,6	242,1	
	0,060	14,13	13,89	13,65	13,43	13,21	12,84	12,56	12,39	12,36	12,46		
		172,1	174,2	176,8	179,8	183,3	191,8	202,5	215,9	235,1	260,2		
	0,070	11,84	11,61	11,37	11,14	10,92	10,51	10,15	9,862	9,672	9,589		
		197,9	200,6	204,0	207,7	211,9	222,1	234,7	252,3	276,0	305,0		
	0,080	10,18	9,954	9,729	9,508	9,290	8,869	8,481	8,143	7,873			
		223,3	226,8	230,8	235,2	240,2	252,0	268,0	290,2	317,1			
	0,090	8,914	8,705	8,494	8,284	8,074	7,663	7,270	6,911	6,599			
		248,5	252,6	257,3	262,4	268,1	282,6	303,5	328,4	358,5			
	0,100	7,925	7,730	7,532	7,334	7,136	6,740	6,354	5,989				$R_{(P)}$
		273,4	278,1	283,5	289,3	296,5	316,1	339,2	366,7				$R_{(W)}$

$d/h$	30	$r/h$										
		0,500	0,475	0,450	0,425	0,400	0,350	0,300	0,250	0,200	0,150	0,100
$s/h$	0,018	75,24	76,10	77,17	78,55	80,23	84,64	90,56	97,96	106,5	115,8	125,2
		56,28	55,95	55,97	56,24	56,80	58,77	61,75	65,74	70,80	77,19	85,46
	0,020	67,25	67,65	68,20	68,99	70,01	72,84	76,86	82,07	88,29	95,19	102,3
		61,85	61,68	61,86	62,28	63,00	65,27	68,59	72,98	78,56	85,64	94,83
	0,023	57,61	57,60	57,68	57,92	58,32	59,68	61,90	65,01	68,94	73,48	78,30
		70,08	70,15	70,55	71,20	72,15	74,89	78,74	83,77	90,15	98,27	109,0
	0,026	50,14	49,89	49,70	49,63	49,67	50,16	51,30	53,13	55,63	58,67	62,02
		78,19	78,49	79,13	80,00	81,18	84,40	88,80	94,47	101,7	110,9	123,4
	0,030	42,54	42,12	41,75	41,46	41,23	41,06	41,35	42,15	43,47	45,25	47,35
		88,89	89,49	90,42	91,59	93,08	96,96	102,1	108,7	117,0	127,6	142,8
	0,035	35,60	35,11	34,63	34,21	33,83	33,24	32,96	33,04	33,51	34,36	35,50
		102,1	103,1	104,4	105,9	107,8	112,5	118,6	126,3	136,0	148,8	167,0
	0,040	30,53	30,01	29,51	29,03	28,58	27,80	27,22	26,91	26,89	27,18	27,74
		115,2	116,5	118,2	120,1	122,4	127,9	134,9	143,8	154,9	170,7	191,3
	0,045	26,68	26,17	25,66	25,17	24,70	23,83	23,10	22,56	22,52	22,19	22,38
		128,3	129,9	131,9	134,2	136,8	143,2	151,2	161,2	174,2	192,5	215,7
	0,050	23,67	23,18	22,68	22,19	21,72	20,81	20,01	19,34	18,85	18,57	18,51
		141,2	143,2	145,5	148,2	151,2	158,4	167,4	178,5	194,2	214,5	240,2
	0,060	19,29	18,83	18,37	17,92	17,47	16,58	15,73	14,95	14,28	13,76	
		166,9	169,5	172,6	175,9	179,7	188,6	199,5	214,8	234,5	258,6	
	0,070	16,25	15,84	15,43	15,01	14,59	13,75	12,92	12,13	11,40	10,77	
		192,3	195,6	199,3	203,4	207,9	218,4	233,4	252,2	274,9	303,0	
	0,080	14,04	13,67	13,29	12,91	12,52	11,74	10,96	10,18	9,444		
		217,5	221,4	225,8	230,5	235,8	250,4	268,4	289,7	315,6		
	0,090	12,35	12,01	11,67	11,32	10,96	10,24	9,501	8,763	8,038		
		242,5	247,0	252,0	258,8	266,3	283,4	303,5	327,5	356,5		
	0,100	11,02	10,71	10,39	10,07	9,746	9,075	8,385	7,685			$R_{(P)}$
		267,5	274,2	281,5	289,2	297,6	316,6	338,9	365,4			$R_{(W)}$

$d/h$	45	$r/h$											
		0,500	0,475	0,450	0,425	0,400	0,350	0,300	0,250	0,200	0,150	0,100	
$s/h$	0,018	105,0	104,4	103,9	103,7	103,6	104,4	106,5	110,1	115,1	121,2	128,0	
		54,05	54,26	54,69	55,29	56,09	58,29	61,30	65,19	70,13	76,45	84,71	
	0,020	93,04	92,17	91,39	90,79	90,35	90,09	90,86	92,80	95,90	100,0	104,8	
		59,40	59,75	60,34	61,08	62,04	64,57	67,95	72,28	77,78	84,81	94,22	
	0,023	79,20	78,14	77,14	76,25	75,47	74,32	73,88	74,30	75,61	77,78	80,59	
		67,36	67,93	68,73	69,70	70,89	73,91	77,86	82,88	89,22	97,32	108,6	
	0,026	68,78	67,66	66,57	65,56	64,61	63,00	61,90	61,42	61,66	62,60	64,14	
		75,26	76,05	77,07	78,26	79,67	83,20	87,72	93,43	100,6	109,8	122,9	
	0,030	58,40	57,28	56,17	55,11	54,08	52,19	50,63	49,50	48,88	48,82	49,30	
		85,75	86,80	88,11	89,59	91,31	95,51	100,8	107,4	115,8	126,9	142,1	
	0,035	49,04	47,98	46,92	45,87	44,84	42,86	41,06	39,53	38,35	37,59	37,29	
		98,77	100,2	101,8	103,7	105,8	110,8	117,1	124,9	134,6	148,5	166,2	
	0,040	42,23	41,24	40,24	39,24	38,25	36,30	34,44	32,75	31,30	30,16	29,40	
		111,7	113,4	115,4	117,6	120,1	126,0	133,2	142,2	154,3	170,2	190,3	
	0,045	37,06	36,14	35,21	34,27	33,33	31,46	29,62	27,89	26,31	24,96	23,94	
		124,6	126,7	129,0	131,6	134,4	141,1	149,3	159,7	174,1	191,9	214,5	
	0,050	33,01	32,16	31,29	30,41	29,53	27,74	25,97	24,24	22,62	21,17	19,98	
		137,5	139,8	142,5	145,4	148,6	156,2	165,4	178,1	194,0	213,7	238,8	
	0,060	27,07	26,33	25,58	24,81	24,03	22,43	20,81	19,18	17,58	16,07		
		163,0	165,9	169,3	172,9	176,8	186,0	199,2	214,9	233,9	257,5		
	0,070	22,93	22,29	21,62	20,94	20,25	18,82	17,35	15,84	14,33	12,85		
		188,3	191,8	195,8	200,1	205,5	218,5	233,8	252,0	274,1	301,6		
	0,080	19,89	19,31	18,72	18,12	17,50	16,21	14,87	13,49	12,07			
		213,3	217,9	223,6	229,7	236,3	251,1	268,5	289,3	314,5			
	0,090	17,55	17,04	16,50	15,96	15,40	14,24	13,02	11,74	10,42			
		240,6	246,5	253,0	259,8	267,2	283,8	303,4	326,7	355,1			
	0,100	15,70	15,24	14,75	14,26	13,75	12,69	11,57	10,39				$R_{(P)}$
		268,8	275,4	282,5	290,1	298,3	315,8	338,5	364,4				$R_{(W)}$

$d/h$	60	$r/h$										
		0,500	0,475	0,450	0,425	0,400	0,350	0,300	0,250	0,200	0,150	0,100
$s/h$	0,018	132,2	130,3	128,5	126,8	125,4	123,1	121,9	122,1	123,8	126,9	131,1
		52,56	53,02	53,66	54,43	55,37	57,74	60,83	64,74	69,70	76,03	84,55
	0,020	117,1	115,1	113,2	111,4	109,8	106,9	104,8	103,8	103,9	105,3	107,7
		57,83	58,43	59,22	60,13	61,22	63,93	67,40	71,78	77,30	84,35	94,06
	0,023	99,83	97,89	95,96	94,10	92,30	88,97	86,17	84,09	82,88	82,63	83,29
		65,70	66,51	67,51	68,65	69,96	73,17	77,23	82,30	88,68	96,81	108,3
	0,026	86,91	85,04	83,17	81,33	79,53	76,07	72,94	70,31	68,32	67,09	66,65
		73,54	74,55	75,76	77,11	78,66	82,37	87,01	92,78	100,0	109,6	122,7
	0,030	74,05	72,31	70,56	68,81	67,07	63,65	60,40	57,44	54,90	52,92	51,61
		83,96	85,23	86,72	88,35	90,20	94,59	100,0	106,7	115,1	126,8	141,8
	0,035	62,45	60,87	59,27	57,67	56,05	52,81	49,62	46,56	43,75	41,32	39,42
		96,92	98,51	100,3	102,3	104,6	109,8	116,2	124,1	134,6	148,3	165,8
	0,040	53,96	52,54	51,08	49,61	48,12	45,10	42,06	39,07	36,20	33,59	31,38
		109,8	111,7	113,9	116,2	118,8	124,9	132,3	141,7	154,3	169,9	189,8
	0,045	47,50	46,20	44,87	43,52	42,15	39,34	36,48	33,61	30,79	28,13	25,78
		122,7	124,9	127,4	130,1	133,1	139,9	148,3	159,9	174,0	191,6	213,9
	0,050	42,41	41,22	40,00	38,76	37,50	34,89	32,21	29,48	26,75	24,11	21,72
		135,5	138,0	140,8	143,9	147,2	154,9	165,3	178,2	193,9	213,3	238,1
	0,060	34,92	33,90	32,86	31,80	30,71	28,45	26,09	23,65	21,14	18,65	
		160,9	164,1	167,5	171,2	175,6	186,6	199,5	214,9	233,7	257,0	
	0,070	29,66	28,79	27,88	26,95	26,00	24,01	21,92	19,73	17,46	15,15	
		186,1	190,2	195,2	200,4	206,1	218,9	233,9	251,9	273,7	300,9	
	0,080	25,78	25,01	24,21	23,39	22,54	20,77	18,91	16,93	14,87		
		213,4	218,6	224,3	230,3	236,8	251,4	268,5	289,0	314,0		
	0,090	22,79	22,10	21,38	20,65	19,89	18,30	16,62	14,83	12,94		
		241,4	247,2	253,6	260,4	267,6	284,0	303,3	326,3	354,4		
	0,100	20,42	19,79	19,15	18,48	17,80	16,36	14,82	13,19			$R_{(P)}$
		269,4	276,0	283,1	290,6	298,6	316,8	338,3	363,9			$R_{(W)}$

$d/h$	100	$r/h$										
		0,500	0,475	0,450	0,425	0,400	0,350	0,300	0,250	0,200	0,150	0,100
$s/h$	0,018	202,3	197,5	192,7	188,0	183,2	173,9	165,0	156,9	150,0	144,7	141,2
		50,48	51,23	52,12	53,09	54,19	56,81	60,05	64,07	69,09	75,49	84,38
	0,020	180,0	175,6	171,0	166,5	162,0	152,9	144,1	135,8	128,3	122,0	117,2
		55,70	56,59	57,61	58,72	59,98	62,93	66,56	71,05	76,65	83,97	93,85
	0,023	154,4	150,4	146,3	142,2	138,0	129,5	121,0	112,7	104,9	97,86	92,03
		63,52	64,59	65,82	67,14	68,62	72,08	76,30	81,50	87,97	96,74	108,1
	0,026	135,2	131,6	127,8	124,0	120,2	112,3	104,3	96,26	88,46	81,16	74,81
		71,32	72,58	74,00	75,54	77,25	81,20	86,02	91,92	99,51	109,5	122,3
	0,030	115,9	112,7	109,4	106,0	102,5	95,35	87,99	80,49	72,98	65,72	59,12
		81,68	83,19	84,89	86,70	88,70	93,33	98,93	105,8	115,1	126,6	141,4
	0,035	98,40	95,56	92,64	89,65	86,59	80,24	73,62	66,77	59,78	52,83	46,27
		94,60	96,42	98,44	100,6	103,0	108,4	115,0	123,9	134,7	148,1	165,2
	0,040	85,45	82,94	80,34	77,69	74,95	69,27	63,29	57,05	50,58	44,03	37,69
		107,5	109,6	111,9	114,4	117,2	123,5	131,8	142,0	154,3	169,6	189,2
	0,045	75,51	73,26	70,93	68,54	66,08	60,94	55,51	49,80	43,82	37,69	31,64
		120,3	122,7	125,4	128,2	131,3	139,2	148,7	160,1	173,9	191,1	213,2
	0,050	67,64	65,59	63,49	61,32	59,08	54,40	49,44	44,18	38,65	32,92	27,17
		133,0	135,8	138,8	142,2	146,2	155,2	165,7	178,3	193,7	212,8	237,3
	0,060	55,96	54,24	52,47	50,64	48,75	44,79	40,57	36,07	31,28	26,25	
		159,2	163,1	167,2	171,7	176,4	187,2	199,8	214,9	233,3	256,3	
	0,070	47,70	46,23	44,70	43,12	41,50	38,07	34,40	30,47	26,27	21,81	
		186,8	191,3	196,1	201,3	206,8	219,3	234,1	251,7	273,2	300,0	
	0,080	41,57	40,27	38,93	37,55	36,11	33,10	29,86	26,39	22,65		
		214,5	219,6	225,2	231,1	237,4	251,7	268,5	288,7	313,3		
	0,090	36,82	35,67	34,47	33,24	31,96	29,27	26,38	23,36	19,91		
		242,3	248,1	254,4	261,0	268,1	284,2	303,2	325,8	353,6		
	0,100	33,04	32,00	30,93	29,82	28,67	26,24	23,62	20,80			$R_{(P)}$
		270,3	276,8	283,7	291,1	299,0	316,9	338,0	363,2			$R_{(W)}$

## Додаток Е. Розрахункові значення границі плинності і границі міцності

Таблиця Е.1. Розрахункові значення границі плинності для вуглецевих і низьколегованих сталей за ГОСТ 14249-89

Розрахункова температура стінки посудини або апарата, °С	Розрахункове значення границі плинності $\sigma_T$ , МПа, для сталей марок							
	Ст3		09Г2С, 16ГС		20, 20К	10	10Г2, 09Г2	17ГС, 17Г1С, 10Г2С1
	Товщина, мм							
	До 20	Понад 20	До 32	Понад 32	До 160			
20	250	210	300	280	220	195	270	280
100	230	201	165,5	240	213	188	240	240
150	224	197	156,5	231	209	183	231	231
200	223	189	247,5	222	204	177	222	222
250	197	180	243	218	198	168	218	218
300	173	162	226,5	201	179	150	201	201
350	167	147	210	185	159	132	185	185
375	164	140	199,5	174	147	123	162	174
400	–	–	183	158	–	–	–	158
410	–	–	–	156	–	–	–	156
420	–	–	–	138	–	–	–	138

Таблиця Е.2. Розрахункові значення границі міцності для вуглецевих і низьколегованих сталей за ГОСТ 14249-89

Розрахункова температура стінки посудини або апарата, °С	Розрахункове значення границі міцності $\sigma_B$ , МПа, для сталей марок							
	Ст3		09Г2С, 16ГС		20, 20К	10	10Г2, 17ГС, 09Г2, 17Г1С, 10Г2С1	
	Товщина, мм							
	До 20	Понад 20	До 32	Понад 32	До 160			
20	460	380	470	440	410	340	440	
100	435	360	425	385	380	310	385	
150	460	390	430	430	425	340	430	
200	505	420	439	439	460	382	439	
250	510	435	444	444	460	400	444	
300	520	440	445	445	460	374	445	
350	480	420	441	441	430	360	441	
375	450	402	425	425	410	330	425	

Таблиця Е.3. Розрахункові значення умовної границі плинності для теплотривких хромистих сталей за ГОСТ 14249-89

Розрахункова температура стінки посудини або апарата, °С	Розрахункове значення умовної границі плинності $\sigma_{0,2}$ , МПа, для сталей марок				
	12МХ	12ХМ	15ХМ	15Х5М	15Х5М-У
20	220	220	233	220	400
100	219	219	230	210	352,5
150	218	218	229	207	345
200	217,5	217,5	228	201	337,5
250	217,5	217,5	228	190	330
300	212	212	220	180	315
350	206	206	213	171	300
375	202	202	210	164	270
400	198	198	205	158	255
410	195	195	204	155	240
420	194	194	202	152	225

Таблиця Е.4. Розрахункові значення границі міцності для теплотривких хромистих сталей за ГОСТ 14249-89

Розрахункова температура стінки посудини або апарата, °С	Розрахункові значення границі міцності $\sigma_b$ , МПа, для сталей марок				
	12МХ	12ХМ	15ХМ	15Х5М	15Х5М-У
20	450	450	450	400	600
100	440	440	440	380	572
150	434	434	434	355	555
200	430	430	430	330	535
250	440	437	437	320	520
300	454	445	445	318	503
350	437	442	442	314	492
375	427	436	436	312	484
400	415	426	426	310	472
410	413	424	424	306	468
420	410	421	421	300	462



Таблиця Е.5. Розрахункові значення умовної границі плинності  $\sigma_{0,2}$  для жароміцних, жаростійких і корозійностійких сталей аустенітного та аустенітно-феритного класів за ГОСТ 14249-89

Розрахункова температура стінки посудини або апарата, °С	Розрахункове значення умовної границі плинності $\sigma_{0,2}$ , МПа, для сталей марок					
	08X18Г8Н2Т (КО-3)	07X13АГ20 (ЧС-46)	02X8Н22С6 (ЭП-794)	15X18Н12С4ТЮ (ЭИ-654)	08X22Н6Т, 08X21Н6М2Т	06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ
20	350	350	200	350	350	220
100	328	260	160	330	300	207
150	314	230	150	310	290	195
200	300	200	135	300	283	186
250	287	190	125	280	250	175
300	274	180	115	270	240	165
350	–	170	–	–	–	160
375	–	165	–	–	–	157,5
400	–	160	–	–	–	155

Таблиця Е.6. Розрахункові значення границі міцності  $\sigma_B$  для жаростійких і корозійностійких сталей аустенітного та аустенітно-феритного класів за ГОСТ 14249-89

Розрахункова температура стінки посудини або апарата, °С	Розрахункове значення границі міцності $\sigma_B$ , МПа, для сталей марок				
	08X18Г8Н2Т (КО-3)	07X13АГ20 (ЧС-46)	02X8Н22С6 (ЭП-794)	15X18Н12С4ТЮ (ЭИ-654)	06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ
20	600	670	550	700	550
100	535	550	500	640	527,5
150	495	520	480	610	512,5
200	455	490	468	580	500
250	415	485	450	570	490
300	375	480	440	570	482,5
350	–	465	–	–	478
375	–	458	–	–	474
400	–	450	–	–	470

Таблиця Е.7. Розрахункові значення умовної границі плинності  $\sigma_{1,0}$  для жароміцних, жаростійких і корозійностійких сталей аустенітного класу за ГОСТ 14249-89

Розрахункова температура стінки посудини або апарата, °С	Розрахункове значення границі плинності $\sigma_{1,0}$ , МПа, для сталей марок				
	12X18H10T, 12X18H12T, 10X17H13M2T, 10X17H13M3T	08X18H10T, 08X18H12T, 08X17H13M2T, 08X17H15M3T	03X21H21M4ГБ	03X18H11	03X17H14M3
20	276	252	270	240	230
100	261	234	260	200	210
150	252	222	257	187,5	195
200	240	210	257	180	180
250	231	198	250	173	170
300	222	184,5	223	168	155
350	216	169,5	215	162	152
375	210	162	212	160	135
400	205,5	154,5	210	160	130
410	204	153	–	160	125
420	202,5	151,5	–	160	123
430	201	150,75	–	160	122
440	199,5	150	–	160	121
450	198	148,5	–	160	120
460	196,5	147	–	–	–
470	195	146	–	–	–
480	193,5	145,5	–	–	–
490	192	144	–	–	–
500	190,5	142,5	–	–	–
510	189	141	–	–	–
520	187,5	139,5	–	–	–
530	186	138	–	–	–

Примітка. Границю плинності для поковок, сортового прокату і труб за температури 20 °С належить брати:

– для поковок зі сталі марок 12X18H10T, 10X17H13M2T, 10X17H13M3T –  $\sigma_{1,0}^{20}$  (листа) / 1,2;

– для поковок і сортового прокату зі сталі марки 08X18H10T –  $\sigma_{1,0}^{20}$  (листа) / 1,05;

– для сортового прокату зі сталі марок 12X18H10T, 10X17H13M2T, 10X17H13M3T – 1,15  $\sigma_{1,0}^{20}$  (сорту);

– для поковок зі сталі марок 03X17H14M3, 03X18H11 –  $\sigma_{1,0}^{20}$  (листа) / 1,11;

– для сортового прокату зі сталі марки 03X18H11 –  $\sigma_{1,0}^{20}$  (листа) / 1,25;

– для труб зі сталі марки 03X21H21M4ГБ (ЗІ-35) –  $\sigma_{1,0}^{20}$  (листа) / 1,14;

– для поковок зі сталі марки 03X21H21M4ГБ (ЗІ-35) – 1,08  $\sigma_{1,0}^{20}$ , де  $\sigma_{1,0}^{20}$  – границя плинності матеріалу поковок визначена за ГОСТ 25054 (за погодженням).

Таблиця Е.8. Розрахункові значення границі умовної плинності  $\sigma_{0,2}$  для жароміцних, жаростійких і корозійностійких сталей аустенітного класу за ГОСТ 14249-89

Розрахункова температура стінки посудини або апарата, °С	Розрахункове значення границі плинності $\sigma_{0,2}$ , МПа, для сталей марок				
	12X18H10T, 12X18H12T, 10X17H13M2T, 10X17H13M3T	08X18H10T, 08X18H12T, 08X17H13M2T, 08X17H15M3T	03X21H21M4ГБ	03X18H11	03X17H14M3
20	240	210*	250	200	200
100	228	195	240	160	180
150	219	180	235	150	165
200	210	173	235	140	150
250	204	165	232	135	140
300	195	150	205	130	126
350	190	137	199	127	115
375	186	133	195	125	108
400	181	129	191	122,5	100
410	180	128	–	121,5	98
420	180	128	–	121	97,5
430	179	127	–	120,5	97
440	177	126	–	120	96
450	176	125	–	120	95
460	174	125	–	–	–
470	173	124	–	–	–
480	173	123	–	–	–
490	171	122	–	–	–
500	170	122	–	–	–
510	168	120	–	–	–
520	168	119	–	–	–
530	167	119	–	–	–

\* Для сталей 08X17H13M2T, 08X17H15M3T границя плинності за температури 20 °С становить 200 МПа.

Примітки. 1. Для поковок із сталі марок 12X18H10T, 10X17H13M2T, 10X17H13M3T границі плинності множать на 0,83.

2. Для сортового прокату із сталі марок 12X18H10T, 10X17H13M2T, 10X17H13M3T границі плинності домножують на  $\sigma_{0,2}^*/240$ , де  $\sigma_{0,2}^*$  – умовна границя плинності матеріалу сортового прокату, визначена за ГОСТ 5949.

3. Для поковок і сортового прокату зі сталі марки 08X18H10T границі плинності домножують на 0,95.

4. Для поковок зі сталі марки 03X17H14M3 границі плинності домножують на 0,9.

5. Для поковок зі сталі марки 03X18H11 границі плинності множать на 0,9; для сортового прокату зі сталі марки 03X18H11 границі плинності домножують на 0,8.

6. Для труб зі сталі марки 03X21H21M4ГБ (ЗІ-35) границі плинності домножують на 0,88.

7. Для поковок зі сталі марки 03X21H21M4ГБ (ЗІ-35) границі плинності домножують на відношення  $\sigma_{0,2}^*/240$ , де  $\sigma_{0,2}^*$  – умовна границя плинності матеріалу поковок, визначена за ГОСТ 25054 (за погодженням).

Таблиця Е.9. Розрахункові значення границі міцності  $\sigma_B$  для жароміцних, жаростійких і корозійностійких сталей аустенітного класу за ГОСТ 14249-89

Розрахункова температура стінки посудини або апарата, °С	Розрахункові значення границі міцності $\sigma_B$ , МПа, для сталей марок					
	03X21H21M4ГБ	08X22H6Т, 08X21H6M2Т	03X17H14M3	03X18H11	08X18H10Т, 08X18H12Т, 08X17H13M2Т, 08X17H15M3Т	12X18H10Т, 12X18H12Т, 10X17H13M2Т, 10X17H13M3Т
20	550	600	500	520	520	540
100	540	583	474	450	480	500
150	535	550	453	433	455	475
200	535	515	432	415	430	450
250	534	503	412	405	424	443
300	520	500	392	397	417	440
350	518	–	376	394	408	438
375	517	–	368	392	405	437
400	516	–	360	390	402	436
410	–	–	358	388	400	434
420	–	–	356	386	398	432
430	–	–	354	384	396	431
440	–	–	352	382	394	430
450	–	–	350	380	392	428
460	–	–	–	–	390	426
470	–	–	–	–	388	424
480	–	–	–	–	386	422
490	–	–	–	–	385	421
500	–	–	–	–	383	420
510	–	–	–	–	381	418
520	–	–	–	–	380	416
530	–	–	–	–	374*	412*

\* Для розрахункової температури стінки 550 °С.

У формули для розрахунків на міцність елементів посудин і апаратів, що мають зварні з'єднання, треба вводити коефіцієнт  $\phi$ , який враховує зменшення міцності зварного шва порівняно з основним металом (табл. Ж.1).

## Додаток Ж. Коефіцієнти міцності зварних швів

Таблиця Ж.1. Коефіцієнти міцності зварних швів за ГОСТ 14249-89

Вид зварного шва	Значення коефіцієнта міцності зварного шва	
	Довжина швів, що контролюються, становить 100 % від загальної довжини	Довжина швів, що контролюються, становить 10–50 % від загальної довжини
Стиковий або тавровий з двобічним суцільним проваром, що виконується автоматичним або напівавтоматичним зварюванням	1,0	0,9
Стиковий з підварюванням кореня шва або тавровий з двобічним суцільним проваром, що виконується вручну	1,0	0,9
Стиковий, що доступний для зварювання тільки з одного боку і що має у процесі зварювання металеву підкладку з боку кореня шва, коли підкладка прилягає по всій довжині шва до основного металу	0,9	0,8
Тавровий з конструктивним зазором зварюваних деталей	0,8	0,65
Стиковий, що виконується автоматичним і напівавтоматичним зварюванням з одного боку з флюсовою або керамічною підкладкою	0,9	0,8
Стиковий, що виконується вручну з одного боку	0,9	0,65

## Додаток З. Сталевий листовий прокат

Таблиця З.1. Граничні відхилення по товщині прокату листового гарячекатаного, мм [ГОСТ 19903–74]

Товщина прокату	Більше 7,5 до 25,0	Більше 25 до 30	Більше 30 до 34	Більше 34 до 40	Більше 40 до 50	Більше 50 до 60	Більше 60 до 70	Більше 70 до 80	Більше 80 до 90	Більше 90 до 100	Більше 100 до 115	Більше 115 до 125	Більше 125 до 140	Більше 140 до 160
Мінусовий допуск	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,6	2,2	2,5	2,7	3,1	3,5	3,8	4,2

**Додаток І. Додаткові дані для розрахунку затворів  
апаратів високого тиску**

Таблиця І.1. Орієнтовні розміри ущільнень з двоконусним кільцем, що виготовлені з матеріалу з границею плинності  $\sigma_{T,n}^{20} \geq 300\text{МПа}$  [1]

D, м	$h_1 \cdot 10^3$ , м	$h_2 \cdot 10^3$ , м	$b \cdot 10^3$ , м	$\gamma$ , град
0,2	30	15	17	30
0,3	35	18	20	
0,4	45	22	23	
0,5	50	25	26	
0,6	60	30	30	
0,8	70	35	34	
1,0	85	42	40	
1,2	100	50	47	
1,4	115	58	53	
1,6	135	68	61	
1,8	150	75	67	
2,0	165	82	74	
2,2	180	92	82	
2,4	200	100	89	
2,6	220	110	96	
2,8	235	118	103	
3,0	250	125	109	
3,2	270	135	117	

Таблиця І.2. Розміри ущільнень з кільцем трикутного перерізу, яке виготовлене з матеріалу з границею плинності  $\sigma_{T,n}^{20} \geq 200\text{МПа}$  [1]

D, м	$D_R$ , м	$h_0 \cdot 10^3$ , м	$\gamma$ , град	$\gamma_1$ , град
0,2	0,226	13	47	45
0,3	0,328	15		
0,4	0,432	16		
0,5	0,537	18		
0,6	0,637	20		
0,8	0,837	24		
1,0	1,048	26		
1,2	1,248	30		

Таблиця І.3. Розміри трапеціодальної прокладки [1]

D, м	b, м	h <sub>0</sub> , м	γ <sub>1</sub> , град
Від 0,05 до 0,1	≥ 0,003	0,005	45
> 0,1 до 0,2	≥ 0,0045	0,0075	
> 0,2 до 0,4	≥ 0,006	0,010	
> 0,4	≥ 0,008	0,012	