

ГЛАВА 18

УКРЕПЛЕНИЕ ОТВЕРСТИЙ В СТЕНКАХ АППАРАТА

18.1. Конструкции

Различные отверстия в стенках корпуса, днища сварного аппарата для штуцеров и люков ослабляют стенки и поэтому должны быть большей частью укреплены. Укрепление осуществляется патрубком штуцера, утолщением укрепляемой стенки и укрепляющим кольцом. Наиболее рациональным и поэтому наиболее предпочтительным укреплением является укрепление патрубком штуцера.

На рис. 18.1 показаны типовые конструкции укреплений отверстий в стенках сварных аппаратов. Укрепляющие кольца должны изготавливаться предпочтительно цельными [допускается выполнять их из двух половин, при этом сварной шов (со

сплошным проваром) должен быть расположен под углом 45° к продольной оси аппарата, если штуцер помещен на цилиндрическом корпусе]. Все укрепляющие кольца, а также накладные бобышки должны иметь контрольные сквозные отверстия M10, расположенные в нижней части кольца (бобышки) при рабочем положении аппарата для пневматического испытания герметичности сварных швов избыточным давлением 0,6 МПа.

На рис. 18.2 и 18.3 показаны типовые конструкции соединения наклонных штуцеров на обечайках и смещенных штуцеров на эллиптическом днище.

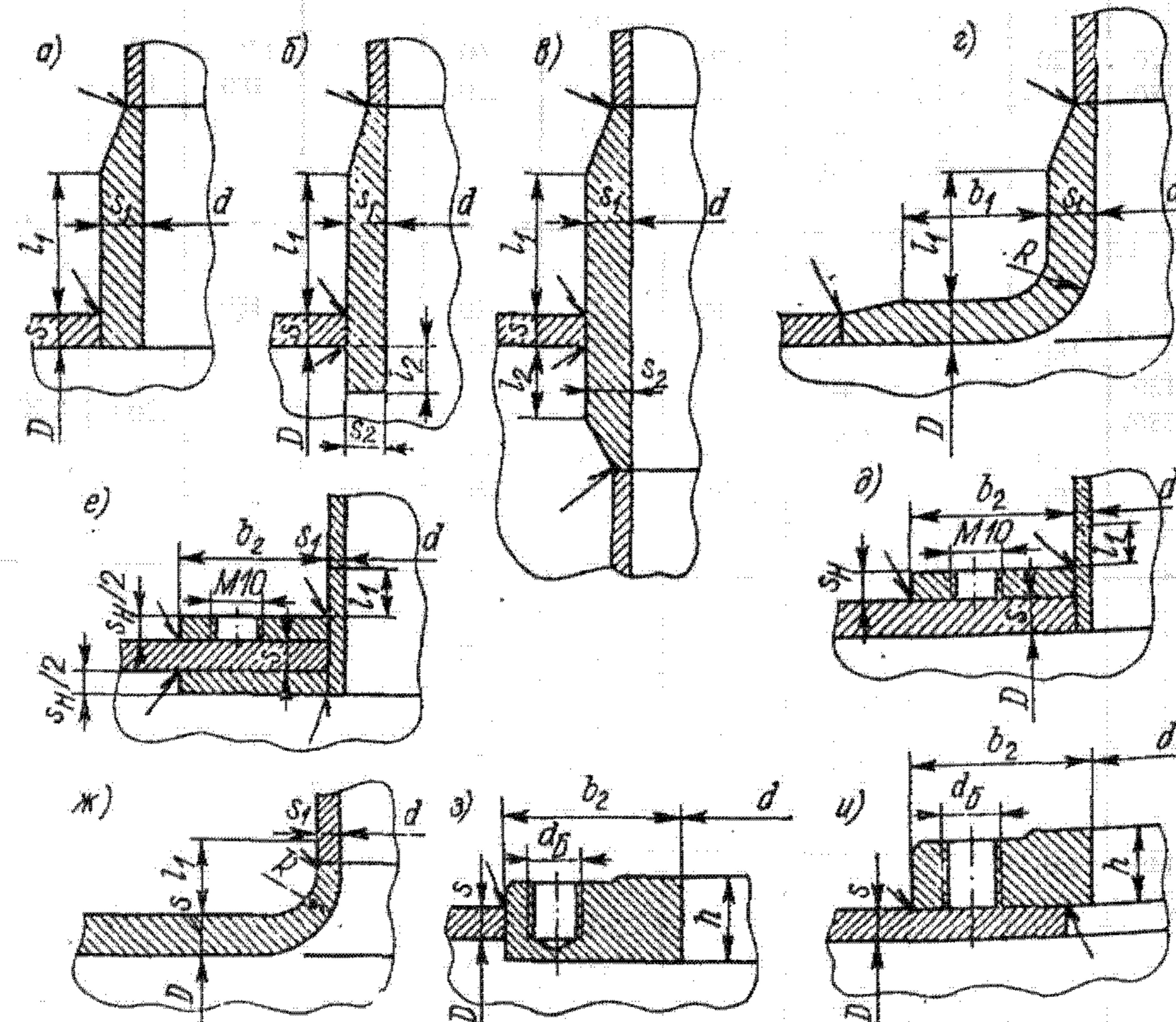


Рис. 18.1. Конструкции укреплений отверстий в стенках сварных аппаратов:
 а — приварным штуцером с внешней стороны; б — приварным штуцером с внешней и внутренней сторон; в — приварной вводной трубой; г — торовой вставкой; д — приварным снаружи накладным кольцом; е — приварными снаружи и изнутри накладными кольцами; ж — отбортованной стенкой; з — врезной бобышкой; и — накладной бобышкой

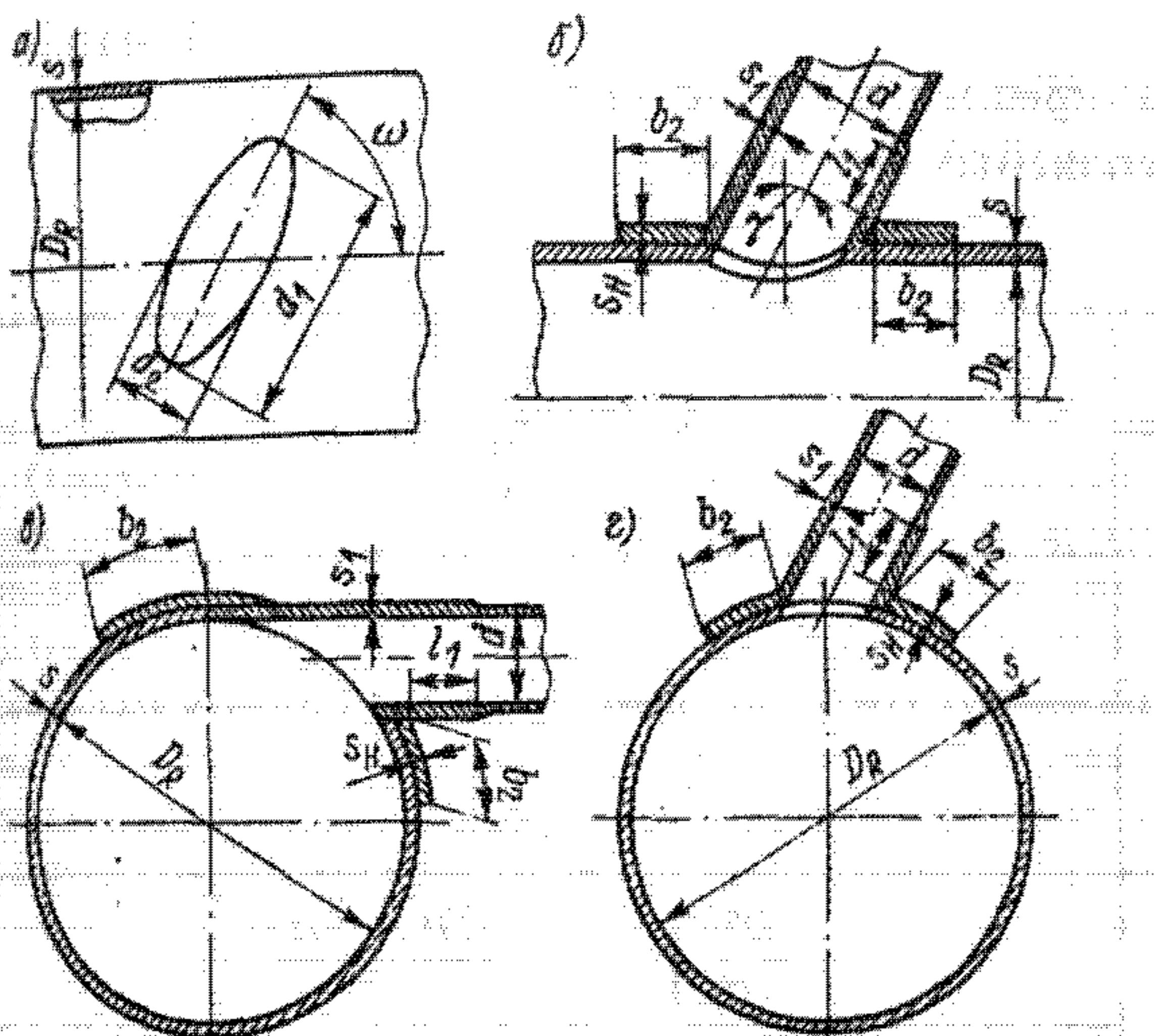


Рис. 18.2. Наклонные штуцера на обечайках:

- а — расположение овального отверстия на обечайке с углом α между осью большего размера и образующей обечайки; б — расположение штуцера в плоскости продольного сечения обечайки под углом γ между осью штуцера и образующей; в, г — расположение штуцера в плоскости поперечного сечения обечайки под некоторым углом к главной оси

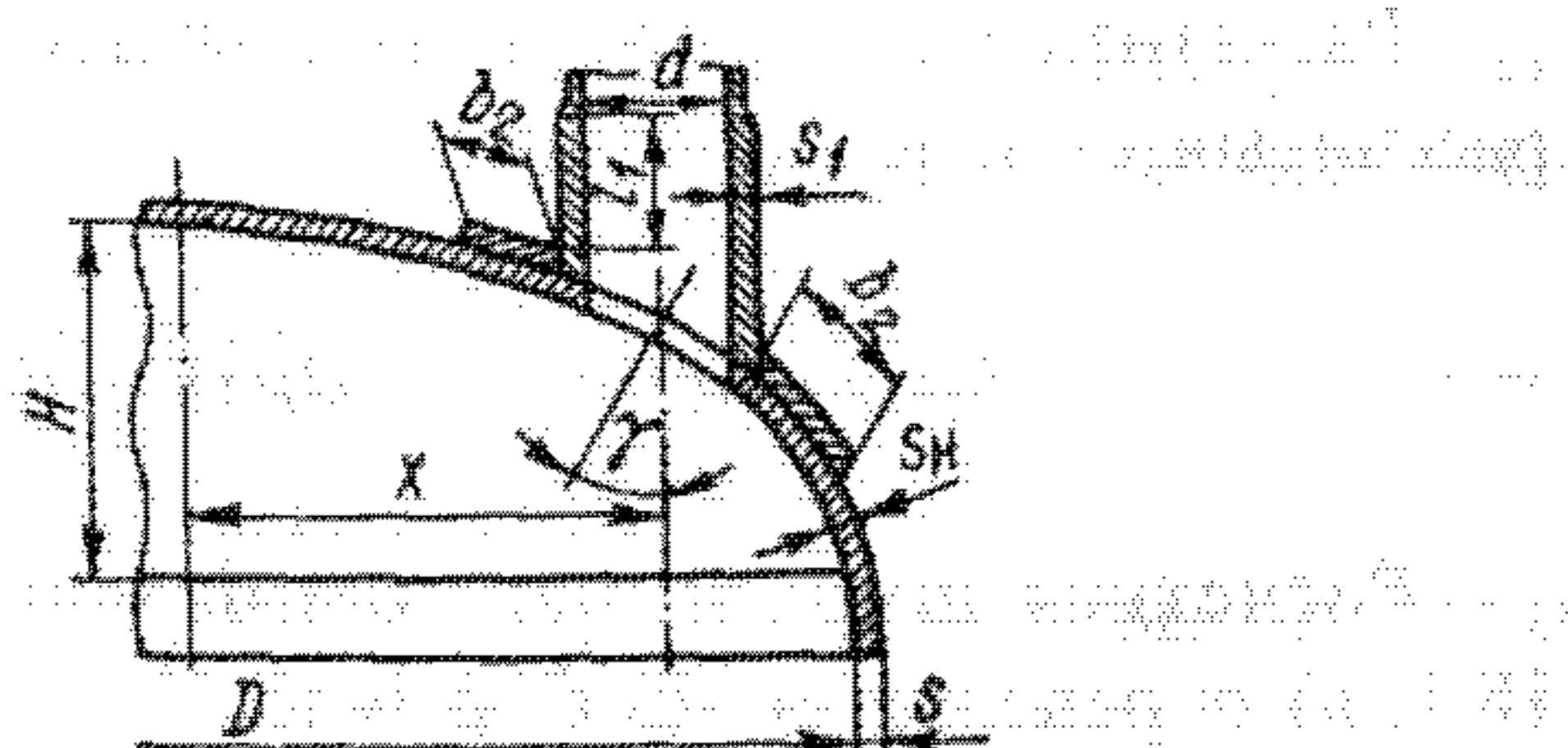


Рис. 18.3. Смешенный штуцер на эллиптическом днище

18.2. Расчет укрепления отверстий

Ниже приводится метод расчета укрепления отверстия, нашедший большое распространение в научно-технической и учебной литературе. Данный метод не является нормативным, поэтому может использоваться на этапах технического проектирования при последующем согласовании результатов со специализированной научно-исследовательской организацией.

Нормативный метод расчета регламентирован ГОСТ 24755—89 (СТ СЭВ 1639—88), он приведен в приложении № 2 справочника.

18.2.1. Область применения и основные формулы

Расчет распространяется на укрепление круглых и овальных отверстий в стенках цилиндрических обечайек, конических переходов и днищ, а также эллиптических и сферических днищ, изготовленных из пластичных в условиях эксплуатации сталей.

Пределы применения метода расчета и значения расчетных диаметров D_R для различных укрепляемых

элементов приведены в табл. 18.1, а значения расчетных диаметров отверстий d_R — в табл. 18.2.

Отверстия в красовой зоне обечайек и днищ, как правило, не допускаются, поэтому расстояние (по проекции образующей) от оси штуцера до края цилиндрической обечайки или конического перехода должно быть

$$x_0 \geq \frac{B_0 + d}{2}, \quad (18.1)$$

где B_0 — ширина зоны укрепления, прилегающей к штуцеру при отсутствии накладного кольца, определяемая по формуле (18.6), а расстояние (по проекции образующей от оси штуцера на плоскость основания днища):

для эллиптических днищ

$$x_0 > 0,05 (D - d); \quad (18.2)$$

для сферических днищ

$$x_0 \geq \max \{0,1 (D + 2s); 0,09D + s\} + 0,5d. \quad (18.3)$$

Отверстия в красовой зоне выпуклых днищ допускаются при условии

$$d_R < \max \{(s - c); 0,2 \sqrt{D_R (s - c)}\}. \quad (18.4)$$

Для наклонных штуцеров с круглым поперечным сечением (рис. 18.2, б) формулы расчета применимы, если угол $\gamma \leq 45^\circ$, а отношение осей овального отверстия удовлетворяют условию

$$\frac{d_1}{d_2} < 1 + 2 \frac{\sqrt{D_R (s - c)}}{d_2}. \quad (18.5)$$

Эти ограничения не распространяются на тангенциальные и наклонные штуцера, оси которых лежат в плоскости поперечного сечения обечайки. Для нецентральных (смешенных) штуцеров на эллиптических днищах $\gamma \leq 60^\circ$.

Расчетные параметры. Расчетные толщины стенок укрепляемых элементов обечайек, конических днищ и переходов определяются по соответствующим формулам к гл. 13 и 14. Для эллиптических днищ, нагруженных внутренним избыточным давлением, расчетная толщина стенки определяется по формуле:

$$s_{IR} = \frac{p D_R}{4 [\sigma] \Phi - p}, \quad (18.6)$$

Расчетная толщина стенки штуцера, нагруженного как внутренним, так и наружным давлением, определяется по формуле:

$$s_{IR} = \frac{p (d + 2c)}{2 [\sigma] \Phi_1 - p}. \quad (18.7)$$

Расчетные длины внешней и внутренней части штуцера, участвующие в укреплении отверстия и учтыв-

Таблица 18.1

Пределы применения метода расчета укрепления отверстий и значения D_R для различных укрепляемых элементов

Укрепляемый элемент	Пределы применения		D_R
	d_R/D	s/D	
Цилиндрическая обечайка	$\leq 1,0$	$\leq 0,1$	D
Конические переход или днище		$\leq \frac{0,1}{\cos \alpha}$	$\frac{D_K}{\cos \alpha}$
Эллиптическое днище			$\frac{D^2}{2H} \sqrt{1 - 4 \frac{(D^2 - 4H^2)}{D^4} x^2}$
То же стандартное ($H_a = 0,25D$)	$\leq 0,5$	$\leq 0,1$	$2D \sqrt{1 - 3 \left(\frac{x}{D} \right)^2}$
Сферическое днище			$2R$

Примечание. Величина x — расстояние от центра укрепляемого отверстия до оси эллиптического днища (рис. 18.3).

ваемые при расчете (рис. 18.1, а—ж), определяются по формулам:

$$l_{1R} = \min \{ l_1; 1,25 \sqrt{(d + 2c)(s_1 - c)} \}; \quad (18.8)$$

$$l_{2R} = \min \{ l_2; 0,5 \sqrt{(d + 2c)(s_2 - 2c)} \}. \quad (18.9)$$

В случае проходящего штуцера одной толщины (рис. 18.1, б и в) принимается $s_2 = s_1$.

Ширина зоны укрепления в обечайках, переходах и днищах определяется по формуле:

$$B_0 = \sqrt{D_R(s - c)}. \quad (18.10)$$

Расчетная ширина зоны укрепления в стенке обечайки, перехода или днища в окрестности штуцера определяется по формуле:

$$b_{1R} = \min \{ l_k; B_0 \}, \quad (18.11)$$

где l_k — расстояние от наружной стенки штуцера до ближайшего несущего конструктивного элемента на укрепляемом элементе (кольца жесткости, фланца, опоры и т.п.).

Расчетная ширина зоны укрепления b_{1R} учитывается только при наличии внутреннего избыточного давления в аппарате, при наличии наружного давления $b_{1R} = 0$.

Расчетная ширина накладного кольца (рис. 18.1, е и д) определяется по формуле:

$$b_{2R} = \min \{ b_2; \sqrt{D_R(s_h + s - c)} \}. \quad (18.12)$$

Расчетная ширина врезной бобышки (рис. 18.1, ж) рассчитывается по формуле:

$$b_{2R} = \min \{ b_2; \sqrt{D_R(h - c)} \}. \quad (18.13)$$

Расчетная ширина накладной бобышки (рис. 18.1, и) определяется по формуле:

$$b_{2R} = \min \{ b_2; \sqrt{D_R(h + s - c)} \}. \quad (18.14)$$

Расчетный диаметр отверстия, не требующего укрепления при отсутствии избыточной толщины стенки аппарата, рассчитывается по формуле:

$$d_{0R} = 0,4B_0. \quad (18.15)$$

Коэффициент прочности сварных соединений

Если ось сварного соединения удалена от наружной поверхности штуцера на расстояние больше $3s$, то коэффициент прочности сварного соединения при расчете укрепления отверстия следует принимать $\Phi = 1$. В исключительных случаях, когда сварной шов пересекает отверстие или удален от наружной поверхности штуцера на расстояние меньше $3s$, принимается $\Phi \leq 1$ в зависимости от вида и качества сварного шва.

Если плоскость, проходящая через продольный шов, и ось штуцера образуют угол не более 30° с плоскостью поперечного сечения цилиндрической или конической обечайки, то принимается $\Phi_1 = 1$. В остальных случаях принимается $\Phi_1 \leq 1$ в зависимости от вида и качества сварного шва.

**Формулы для определения расчетных диаметров отверстий и штуцеров
в зависимости от вида и направления штуцеров,
присоединяемых к обечайкам, переходам и днищам**

Вид отверстия и направление штуцера	Формулы для расчета d_F
Отверстие в стенке обечайки, перехода или днища при наличии штуцера круглого поперечного сечения, ось которого совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия, отверстие и штуцер, оси которых лежат в плоскости поперечного сечения цилиндрической или конической обечайки и направлены к поверхности под некоторым углом (тангенциальные штуцера), а также круглое отверстие без штуцера (рис. 18.1, а—д, рис. 18.2, б, г)	$d + 2c$
Отверстие смещенного штуцера на эллиптическом днище (рис. 18.3)	$d + 2c$
Отверстие овального профиля при наличии наклонного штуцера круглого поперечного сечения, когда большая ось овального отверстия составляет угол ω с образующей обечайки (рис. 18.2, а)	$(d + 2c)(1 + \operatorname{tg}^2 \gamma \cos^2 \omega)$
Отверстие овального профиля при наличии наклонного штуцера круглого сечения, когда ось штуцера лежит в плоскости продольного сечения обечайки ($\omega = 0$) (рис. 18.2, б, а также отверстия в сферических днищах)	$\frac{d + 2c}{\cos^2 \gamma}$
Овальное отверстие, у которого большая ось составляет угол ω с образующей обечайки (рис. 18.2, а)	$(d_1 + 2c) \times \left[\sin^2 \omega + \left(\frac{d_1 + 2c}{d_2 + 2c} \right)^2 \cos^2 \omega \right]^*$
Овальное отверстие, у которого большая ось находится в плоскости продольного сечения обечайки ($\omega = 0$)	$\frac{(d_1 + 2c)^2}{d_2 + 2c}$
Овальное отверстие, у которого меньшая ось находится в плоскости продольного сечения обечайки ($\omega = 90^\circ$)	$d_2 + 2c$
Отверстие для штуцера круглого поперечного сечения, ось которого совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия, при наличии отбортовки или торообразной вставки (рис. 18.1, г и ж)	$d + 1,5(R_s - s_R) + 2c$

* Для выпуклых днищ принимается $\omega = 0$.

Отношение допускаемых напряжений. Для внешней части штуцера

$$\kappa_1 = \min \{1.0; [\sigma]_1 / [\sigma]\}; \quad (18.16)$$

для накладного кольца или бобышки

$$\kappa_2 = \min \{1.0; [\sigma]_2 / [\sigma]\}; \quad (18.17)$$

для внутренней части штуцера

$$\kappa_3 = \min \{1.0; [\sigma]_3 / [\sigma]\}. \quad (18.18)$$

18.2.2. Одиночные отверстия

Отверстие считается одиночным, если ближайшее к нему отверстие не оказывает на него влияния, что имеет место, когда расстояние между наружными поверхностями соответствующих штуцеров удовлетворяет условию:

$$b \geq \sqrt{D_R'(s'_R + s - c)} + \sqrt{D_R''(s''_R + s - c)}. \quad (18.19)$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующего дополнительного укрепления, при наличии избыточной толщины стенки укрепляемого элемента (обечайки, перехода или днища) определяется по формуле:

$$d_{0R} = 2 \left(\frac{s - c}{s_R} - 0,8 \right) B_0. \quad (18.20)$$

Если расчетный диаметр одиночного отверстия удовлетворяет условию

$$d_R < d_{0R}, \quad (18.21)$$

то дальнейших расчетов укрепления отверстия не требуется.

Условия укрепления отверстий. Расчетная площадь вырезанного сечения определяется по формуле:

$$F_R = 0,5 (d_R - d_{0R}) s_R, \quad (18.22)$$

Расчетная площадь укрепляющего сечения укрепляемой стенки определяется по формуле:

$$F_{sR} = b_{1R} (s - s_R - c). \quad (18.23)$$

Расчетная площадь укрепляющего сечения внешней части штуцера (рис. 18.1, а—ж) определяется по формуле:

$$F_{1R} = l_{1R} (s_1 - s_{1R} - c) \chi_1 \quad (18.24)$$

Расчетная площадь укрепляющего сечения на-кладного кольца жесткости (рис. 18.1, д, е)

$$F_{2R} = b_{2R} s_{2R} \chi_2. \quad (18.25)$$

Расчетная площадь укрепляющего сечения врезной или наладной бобышки (рис. 18.1, з, и) определяется по формуле:

$$F_{3R} = b_{3R} h \chi_3. \quad (18.26)$$

Расчетная площадь укрепляющего сечения внутренней части штуцера (рис. 18.1, б, в)

$$F_{4R} = l_{4R} (s_2 - 2c) \chi_4. \quad (18.27)$$

В случае проходящего одной толщины штуцера (рис. 18.1, б и в) принимается $s_2 = s_1$.

В формулах (18.6)–(18.27) значения D_R рассчитываются по формулам, приведенным в табл. 18.1; значения d_R — по формулам, приведенным в табл. 18.2; s_R — по соответствующим формулам гл. 13 и 14, а

для эллиптического днища — по формуле (18.6); s_{1R} — по формуле (18.7); d_{0R} — по формулам (18.15) и (18.20); B_0 — по формуле (18.10); l_{1R} и l_{2R} — по формулам (18.8) и (18.9); b_{1R} — по формуле (18.11), b_{2R} — по формулам (18.12)–(18.14); значения коэффициентов χ_1 , χ_2 и χ_3 — по формулам (18.16)–(18.18).

Если $d_R \leq d_{0R}$, то конструкция штуцера, толщина его стенки и другие размеры принимаются из конструктивных и технологических соображений, в частности, по табл. 17.2 для тонкостенных штуцеров. Если $d_R > d_{0R}$, то проверяется достаточность укрепления тонкостенным штуцером, выбранным по табл. 17.2, для чего определяются значения: l_{1R} по формуле (18.8), а если штуцер или труба вводится внутрь аппарата, l_{2R} — по формуле (18.9). Затем последовательно определяются значения b_{1R} по формуле (18.11), F_R — по (18.22), F_{sR} — по (18.23), F_{1R} — по (18.24) и F_{3R} — по (18.27).

Далее проверяется условие

$$F_{1R} + F_{3R} \geq F_R - F_{sR} \quad (18.28)$$

при соблюдении которого толщина стенки выбранного тонкостенного штуцера является исполнительной.

Таблица 18.3

s_1	l_{1R}	l_{3R}	F_{1R}	F_{3R}	$F_{1R} + F_{3R}$
0,7s					
1,45s					

Таблица 18.4

s_R	$l_{1R} = \sqrt{D_R(s_2 + s - c)}$	F_{2R}
0,7s		

Если условие (18.28) не соблюдается, то методом последовательных приближений увеличивается s_1 (из условия сварки в пределах до $s_1 \leq 1,45s$) с соответствующим увеличением l_{1R} и l_{2R} до соблюдения условия (18.28).

Результаты расчета рекомендуется записывать в форме табл. 18.3 с интервалом $\geq 0,15s$.

Исполнительная толщина стенки штуцера принимается ближайшая большая по табл. 17.4 для толстостенных штуцеров.

При определении l_{1R} по (18.8) и l_{2R} по (18.9) длины l_1 и l_2 отсчитываются от наружной или внутренней поверхности аппарата соответственно.

Если при $s_1 = 1,45s$ условие (18.28) все же не соблюдается, то для укрепления отверстия следует ввести наладное кольцо или в месте расположения штуцера соответственно увеличить толщину укрепляемой стенки.

Предварительно принимая $s_h = 0,7s$ и определяя b_{2R} из формулы (18.12), находим расчетную площадь укрепляющего сечения накладного кольца по формуле:

$$F_{2R} = F_R - (F_{sR} + F_{1R} + F_{3R}) \quad (18.29)$$

исполнительную площадь накладного кольца — по формуле:

$$F_2 = F_{2R}/\kappa_2. \quad (18.30)$$

Если $b_{2R} < \sqrt{D_R(s_h + s - c)}$, то b_2 принимается равным b_{2R} , а в качестве исполнительной толщины стеки штуцера ближайшее большее значение s_1 по табл. 17.4, при котором соблюдается условие

$$F_{1R} + F_{3R} \geq F_R - (F_{sR} + F_{2R}). \quad (18.31)$$

Если $b_{2R} > \sqrt{D_R(s_h + s - c)}$, то методом последовательных приближений увеличивается s_h до соблюдения условия (18.31) при ближайшем $b_{2R} < \sqrt{D_R(s_h + s - c)}$.

Результаты расчета рекомендуется записывать в форме табл. 18.4 с интервалами $s_h \geq 0,15s$.

Если $s_h \geq 1,45s$, то рекомендуется, если это конструктивно возможно, вместо одного накладного кольца устанавливать два кольца снаружи и изнутри общей толщиной, равной $s_h + c$.

Форма накладных колец для эллиптических и сферических днищ — круглая и для цилиндрических обечашек и конических переходов и днищ — овальная (допускается круглая при $d + 2b_2 \leq 0,6D$).

При отсутствии штуцера и укреплении отверстия врезной или накладной бобышкой (рис. 18.1, з, и) или утолщением стенки аппарата при расчете условия укрепления принимается $I_{1R} = I_{2R} = 0$, расчетная ширина бобышки определяется по формулам (18.13) или (18.14), значение F_{2R} определяется по формуле (18.26) и проверяется условие

$$F_{2R} + F_{3R} \geq F_R. \quad (18.32)$$

Для случая укрепления отверстия врезной бобышкой $F_{sR} = 0$, так как в месте нахождения бобышки $b_{1R} = 0$ (стенка укрепляемого элемента здесь отсутствует).

Исполнительная ширина бобышки b_2 отсчитывается от края отверстия.

Графический расчет. Расчет укрепления отверстия для штуцера по рис. 18.1, а без использования накладного кольца и внутренней части штуцера может производиться по nomogrammам (рис. 18.4—18.6) согласно табл. 18.5.

Таблица 18.5

Определение толщины стенок штуцера и укрепляемых элементов аппарата графическим методом
(рис. 18.4—18.6), СТ СЭВ 1639—79

Вариант укрепления	Исходные данные	Расчетные параметры	Определяемые параметры	Определяемая толщина стенки
Укрепление отверстия штуцером и укрепляемой стенкой	D_R, d, d_R s_1, s_{1R}, c, c_s K_1, Φ, Φ_1 K_2, p_R [σ]	$\frac{d_R}{D_R} \sqrt{K_1 \Phi \frac{[\sigma]}{p_R}};$ $\frac{K_2}{\sqrt{x_1}} \left(\frac{\Phi}{\Phi_1} \right)^{3/4} \left(\frac{d+2c_s}{D_R} \right);$ $V_1 = \frac{s_{1R}}{s_1 - c_s}$	V	$s > \frac{s_R}{V} + c$
	D_R, d, d_R s, s_R, c, c_s K_1, K_2 $p_R, [\sigma]$	$\frac{d_R}{D_R} \sqrt{K_1 \Phi \frac{[\sigma]}{p_R}};$ $\frac{K_2}{\sqrt{x_1}} \left(\frac{\Phi}{\Phi_1} \right)^{3/4} \left(\frac{d+2c_s}{D_R} \right);$ $V = \frac{s_R}{s - c}$	V_1	$s_1 > \frac{s_R}{V_1} + c$
Укрепление отверстия без штуцера	D_R, d_R $K_1, \Phi,$ $p_R, [\sigma]$	$\frac{d_R}{D_R} \sqrt{K_1 \Phi \frac{[\sigma]}{p_R}}$ $V_1 = 1,0$	V	$s > \frac{s_R}{V} + c$

Примечание. Для сферических и эллиптических стенок $K_1 = 2$; $K_2 = 1,68$; для цилиндрических и конических стенок $K_1 = K_2 = 1,0$. Φ — коэффициент прочности сварных соединений обечашек и днищ; Φ_1 — коэффициент прочности продольного сварного соединения штуцера; c — сумма прибавок к расчетной толщине стенки обечашки, перехода или днища, мм; c_s — сумма прибавок к расчетной толщине стенки штуцера, мм.

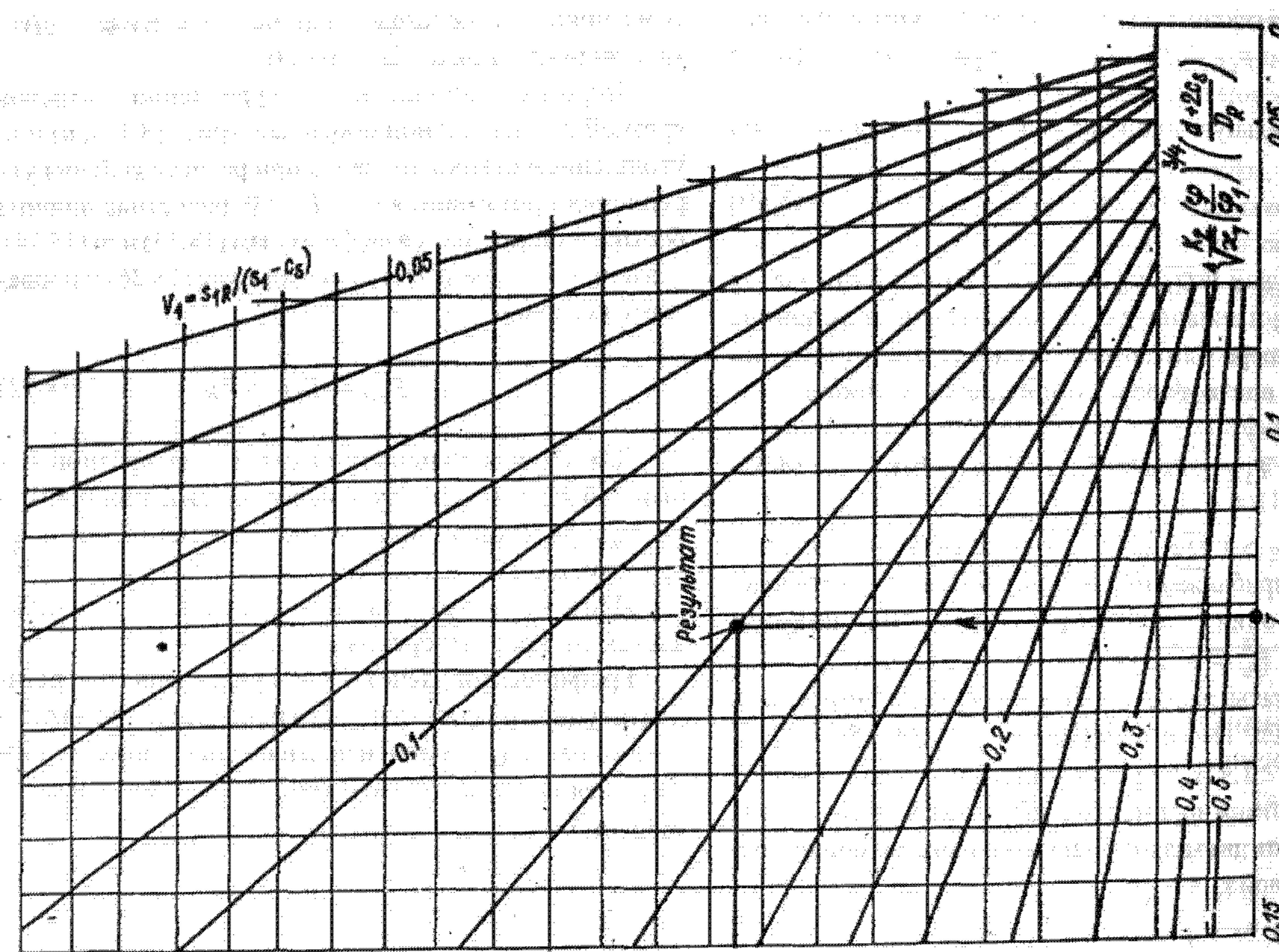
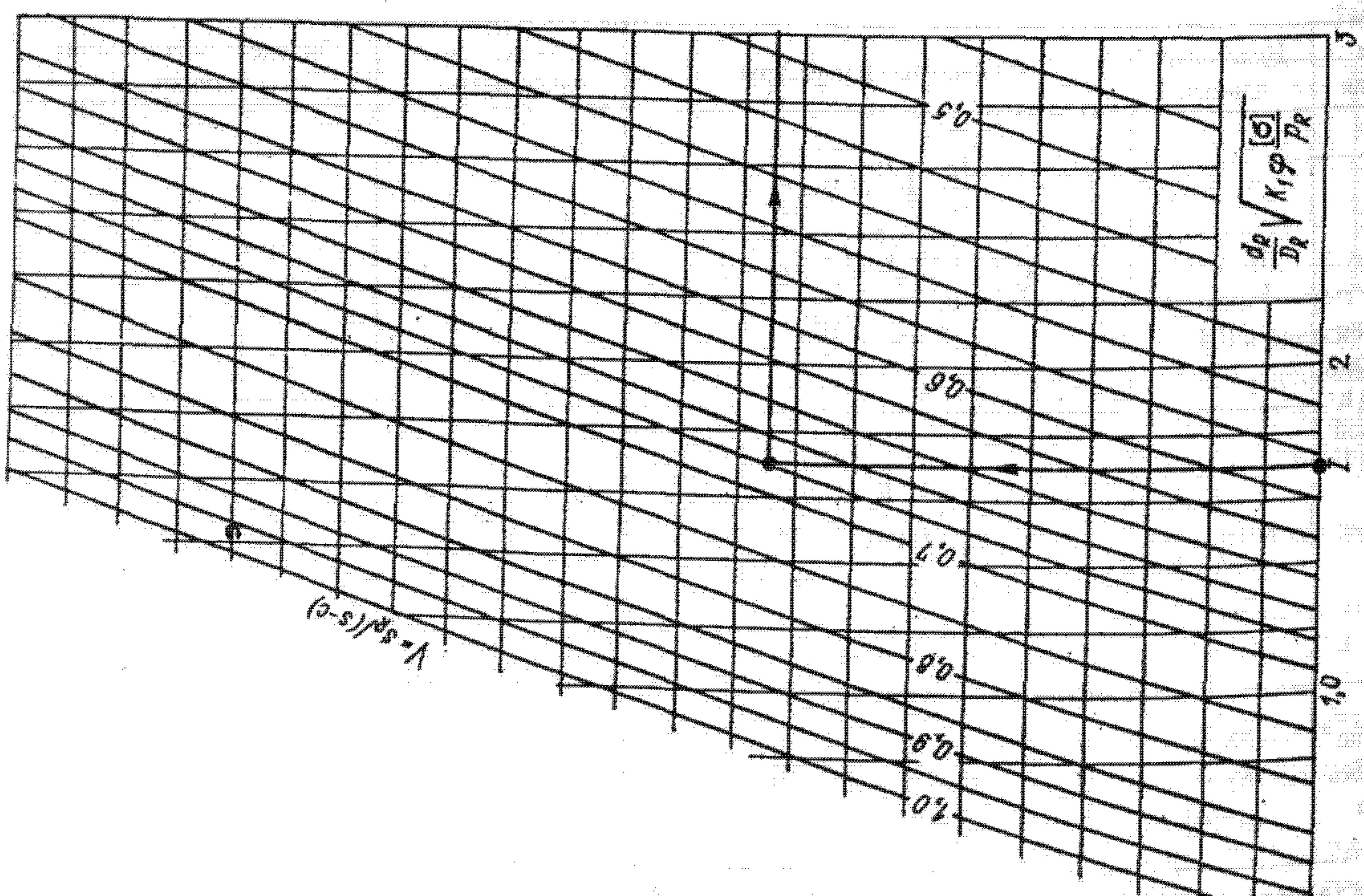


Рис. 184. Номограмма для графического расчета укрепления отверстия при

$$\frac{d_R}{D_R} \sqrt{K_{1\Phi} \frac{|a_1|}{\rho_R}} < 3 \text{ и } \frac{K_{2\Phi}}{\sqrt{\omega_1}} \left(\frac{\Phi}{\omega_1} \right)^{1/4} \left(\frac{d_2 + 2C_1}{D_R} \right) < 0.15$$



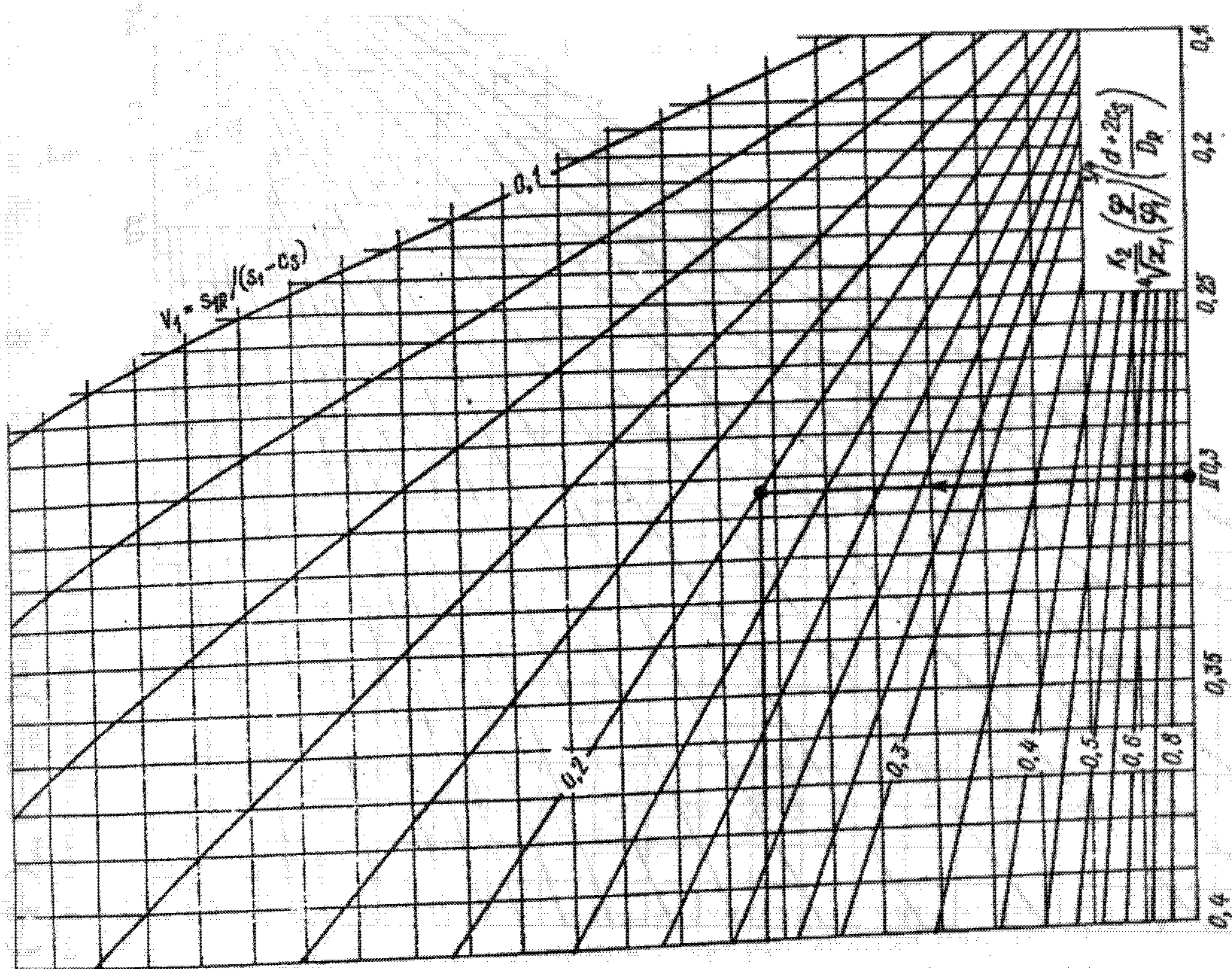
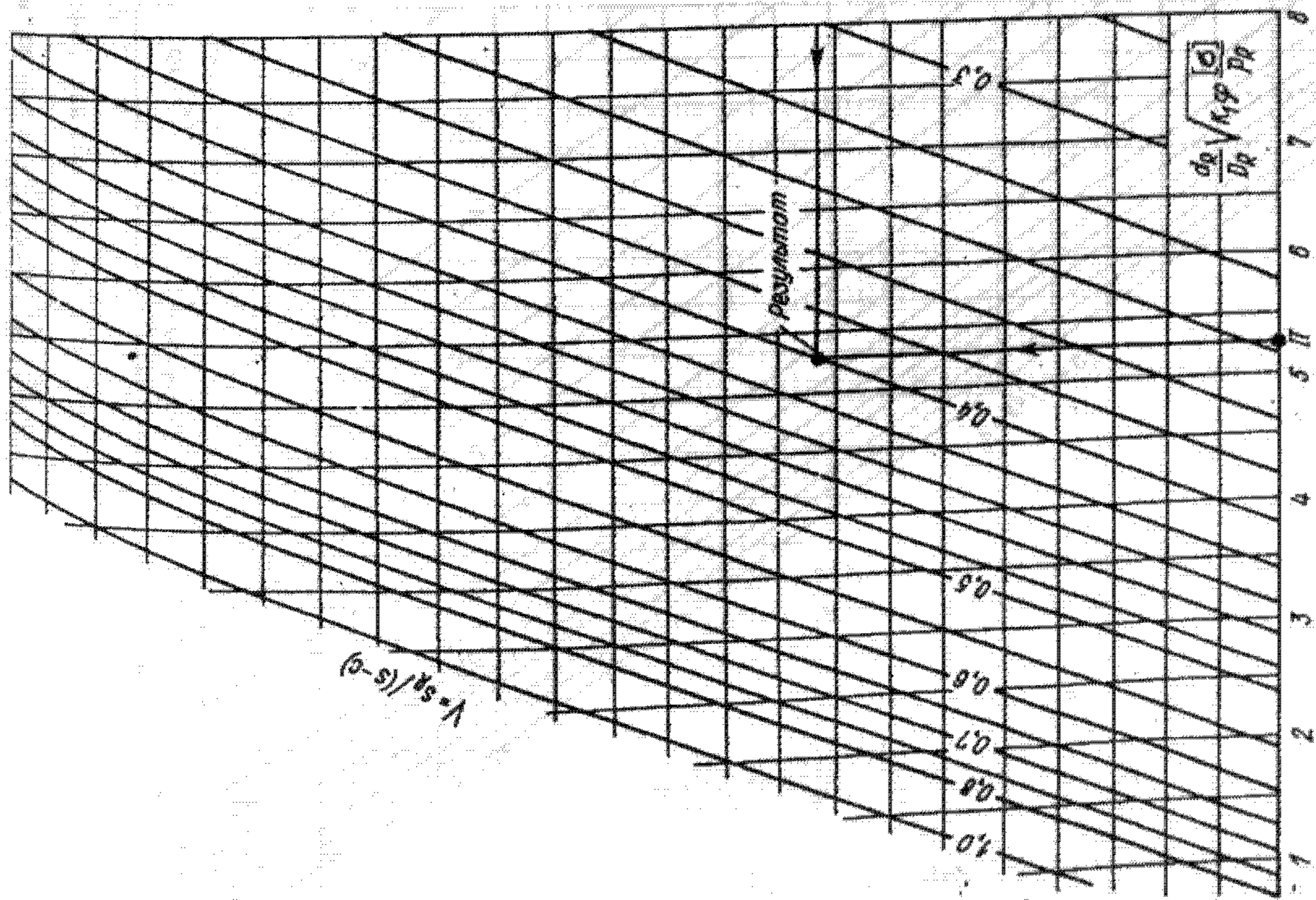


Рис. 18.5. Номограмма для графического расчета укрепления отверстий при

$$\frac{d_R}{D_R} \sqrt{K_1 \varphi \frac{[\sigma]}{p_R}} = 3 - 8 \text{ и } \frac{K_2}{\sqrt{\chi_1}} \left(\frac{P}{D_R} \right)^{3/4} \left(\frac{d + 2c_3}{D_R} \right) = 0,15 - 0,4$$



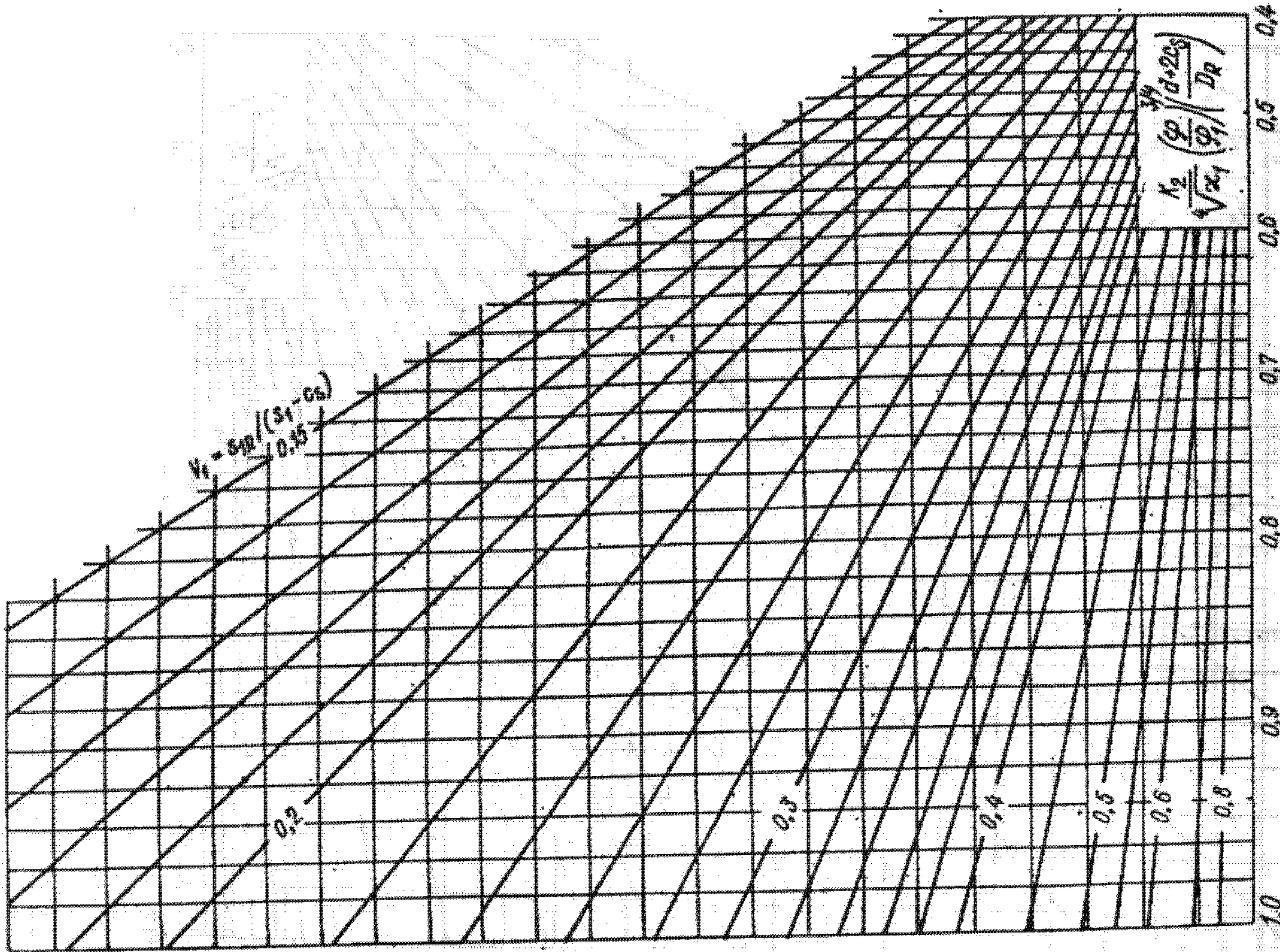
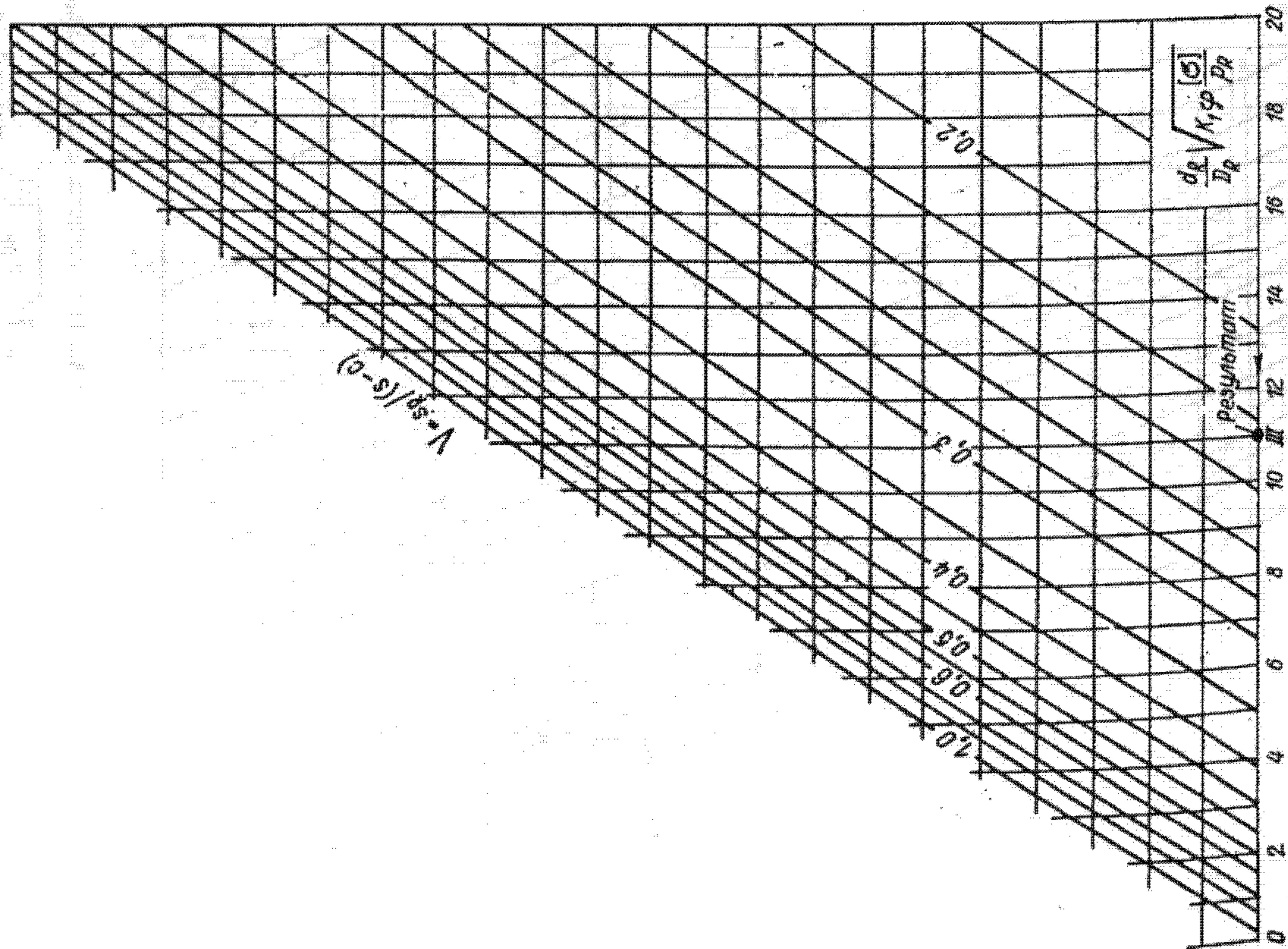


Рис. 18.6. Номограмма для графического расчета укрепления отверстий при $\frac{d_R}{D_R} = 8 - 20$ и $\sqrt{\frac{K_2}{x_1}} \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{2/3} \left(\frac{d + 2e_s}{D_R} \right) = 0.4 - 1.0$



При расчете по nomogrammам должны быть выполнены следующие условия:

$$l_1 \geq 1,25 V (d + 2c_s) (s_1 - c_s); \quad (18.33)$$

$$b_R \geq B_0. \quad (18.34)$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление

$$[p] = \frac{2K_1 (s - c) \Phi [\sigma]}{D_R + s - c} V, \quad (18.35)$$

где $K_1 = 1$ — для цилиндрических обечайек и конических переходов и днищ; $K_1 = 2$ — для выпуклых днищ;

$$V = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{l_{1R} (s_1 - c_s) \kappa_1 + b_{2R} s_h \kappa_2 + l_{2R} (s_2 - 2c_s) \kappa_3}{l_R (s - c)}}{1 + 0,5 \frac{d_R - d_{0R}}{l_R} + K_1 \frac{d + 2c_s}{D_R} \frac{\Phi}{\Phi_1} \frac{l_{1R}}{l_R}} \right\}, \quad (18.36)$$

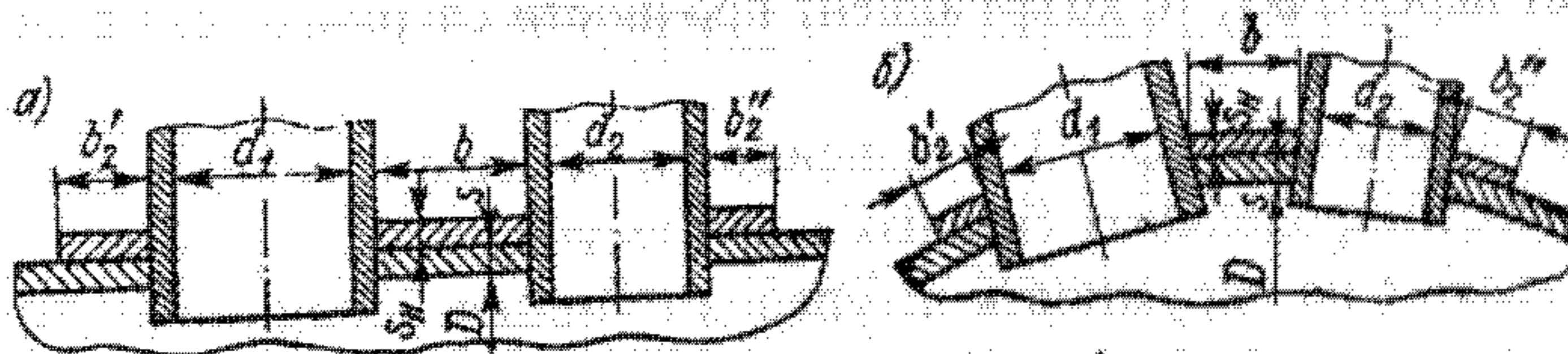


Рис. 18.7. Конструкции совместного укрепления близкорасположенных отверстий для штуцеров: а — при расположении отверстий по образующей цилиндрической или конической стенок, б — при расположении отверстий в выпуклых днищах или по окружности цилиндрической стенки

Укрепление отверстий в аппаратах, работающих под наружным давлением.

Допускаемое наружное давление определяется по формуле:

$$[p] = \frac{[p]_p}{V \sqrt{1 + \left(\frac{[p]_p}{[p]_e} \right)^2}}, \quad (18.37)$$

где $[p]_p = [p]$ — по формуле (18.35); $[p]_e$ — определяется для соответствующих укрепляемых стенок (обечайки или днища) без отверстий (см. гл. 13. и 14).

18.2.3. Учет взаимного влияния отверстий

Если условие (18.19) не соблюдается, то после проведенного выше расчета укрепления каждого из отверстий проверяется достаточность укрепления перемычки между отверстиями определением допускаемого внутреннего избыточного давления на перемычку по формуле:

$$[p] = \frac{2K_1 (s - c) \Phi [\sigma]}{0,5 (D'_R + D''_R) + s - c} V, \quad (18.38)$$

где значение коэффициента K_1 дано в формуле (18.35), и коэффициент V , учитывающий понижение прочности из-за взаимного влияния отверстий, определяется из условия

$$V = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{l'_{1R}(s'_1 - c'_s)x_1 + b'_{2R}s'_hx'_2 + l'_{2R}(s'_2 - c'_s)x'_3}{b(s - c)} + \frac{l'_{1R}(s''_1 - c''_s)x''_1 + b''_{2R}s''_hx''_2 + l''_{2R}(s''_2 - 2c''_s)x''_3}{b(s - c)}}{K_3 \left(1 + 0,5 \frac{d'_R + d''_R}{b} \right) + K_1 \left(\frac{d' + 2c'_s}{D'_R} \frac{\varphi}{\varphi'_1} \frac{l'_{1R}}{b} + \frac{d'' + 2c''_s}{D''_R} \frac{\varphi}{\varphi''_1} \frac{l''_{1R}}{b} \right)} \right\} \quad (18.39)$$

Коэффициент K_3 для цилиндрических и конических обечайок определяется по формуле:

$$K_3 = \frac{1 + \cos^2 \beta}{2}, \quad (18.40)$$

где β — угол между линией, соединяющей центры двух взаимовлияющих отверстий, и образующий обечайки. Для выпуклых днищ $K_3 = 1$.

Если ось сварного соединения обечайки удалена от наружных поверхностей обоих штуцеров более чем на $3s$ и не пересекает перемычку, то коэффициент прочности сварного шва в формулах (18.38) и (18.39) следует принимать $\varphi = 1$.

В остальных случаях принимается $\varphi \leq 1$ в зависимости от вида и качества сварного шва.

Коэффициенты прочности продольных сварных швов штуцеров $\varphi'_1 = 1$ и $\varphi''_1 = 1$, если соответствующие сварные швы составляют на окружности штуцеров с линией, соединяющей оси штуцеров, угол не менее 60° . В остальных случаях $\varphi'_1 \leq 1$ и $\varphi''_1 \leq 1$ в зависимости от вида и качества соответствующего сварного шва.

На рис. 18.7 показаны конструкции укрепления взаимовлияющих отверстий общей накладкой. Укрепление может быть осуществлено также и местным утолщением укрепляемой стенки толщиной $s + s_h + c$.

При укреплении двух близко расположенных отверстий другими способами необходимо, чтобы половина площади, требуемой для укрепления в продольном сечении, размещалась между этими отверстиями.

Примеры

18.3.1. Для цилиндрической оболочки горизонтального емкостного аппарата (см. рис. 13.14), работающего под внутренним давлением, определить наибольший диаметр одиночных отверстий, не требующих дополнительного укрепления, и минимальное расстояние между наружными поверхностями штуцеров, когда их можно считать одиночными.

Исходные данные. Диаметр аппарата $D = 3000$ мм, исполнительная и расчетная толщины стенки обечайки соответственно $s = 20$ мм, $s_p = 16,8$ мм, прибавки к расчетной толщине стенки $c = c_{ш} = 1,5$ мм.

Решение. Минимальное расстояние между отверстиями, когда их еще можно считать одиночными (см. рис. 18.7), при $s_k = 0$

$$\Delta \geq 2L_0 = 2\sqrt{D_p(s - c)} = 2\sqrt{3(20 - 1,5) \cdot 10^{-3}} = 0,236 \text{ м} = 236 \text{ мм},$$

где $D_p = D = 3$ м — для цилиндрической обечайки.

Наибольший допускаемый диаметр одиночного отверстия, не требующего дополнительного укрепления,

$$\begin{aligned} d_0 &= 2 \{ [(s - c)/s_p - 0,8] \sqrt{D_p(s - c)} - c_{ш} \} = \\ &= 2 \{ [(20 - 1,5) \cdot 10^{-3}/(16,8 \cdot 10^{-3}) - \\ &- 0,8] \sqrt{3(20 - 1,5) \cdot 10^{-3}} - 1,5 \cdot 10^{-3} \} = \\ &= 0,139 \text{ м} = 139 \text{ мм.} \end{aligned}$$

18.3.2. Рассчитать для конического днища (рис. 18.8) патронного фильтра, работающего под внутренним давлением, укрепление нормального одиночного отверстия без использования накладного кольца.

Исходные данные. Внутренний диаметр аппарата $D = 1000$ мм, внутренний диаметр днища по центру укрепляемого отверстия $D_k = 750$ мм, внутренний диаметр штуцера $d = 50$ мм, длина штуцера $l_1 = 125$ мм, расчетная и исполнительная толщина конической оболочки $s_p = 2,5$ мм, $s_{ш} = 4$ мм, расчетная и исполнительная толщина штуцера $s_{ш,р} = 0,87$ мм, $s_{ш} = 4$ мм, материал конической оболочки и штуцера — сталь 12Х18Н12Т; угол при вершине конического днища $2\alpha = 90^\circ$, прибавка к расчетной толщине стенки $c = c_{ш} = 1$ мм.

Решение. Расчетный диаметр конической оболочки по центру укрепляемого отверстия

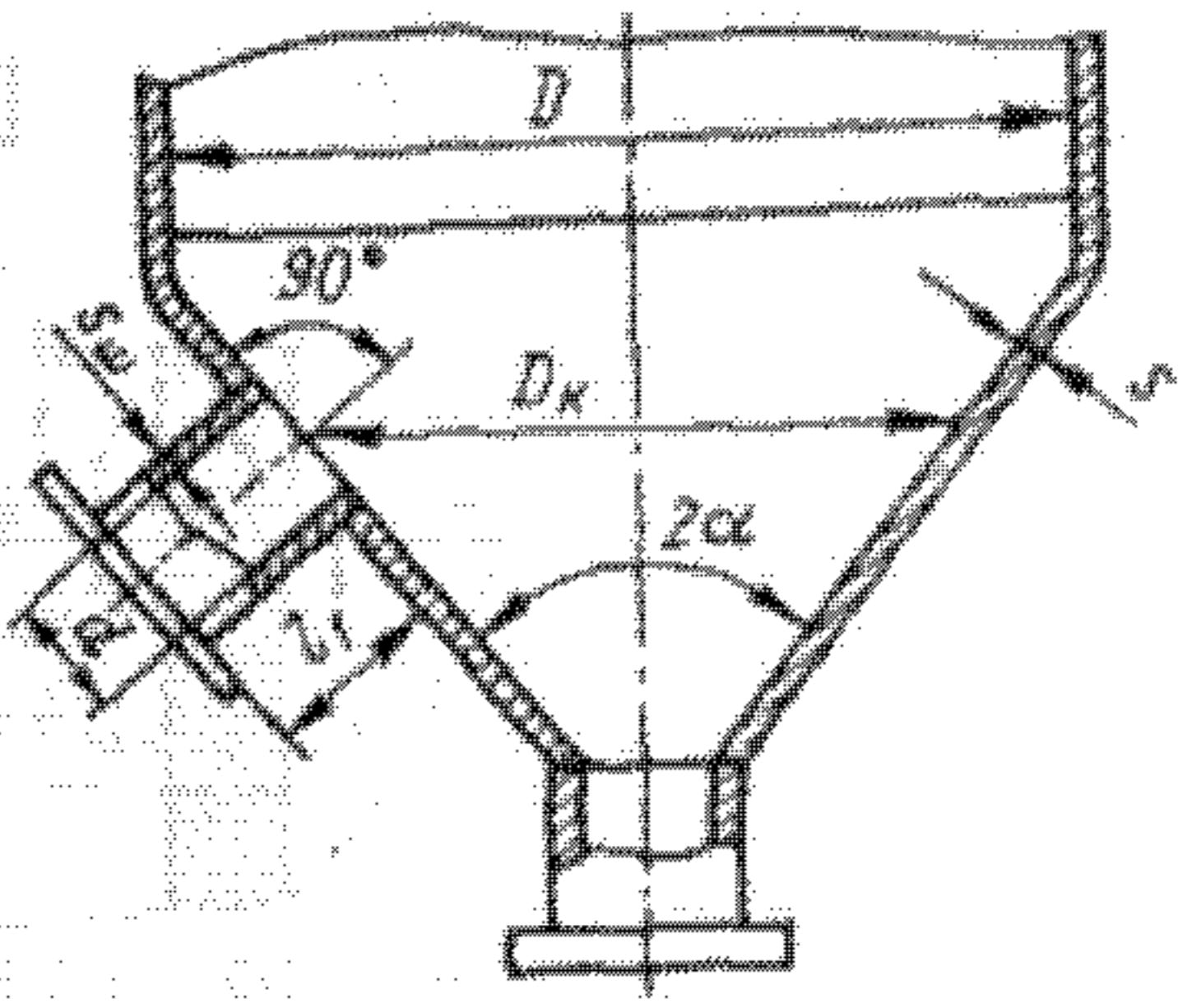


Рис. 18.8. Коническое днище патронного фильтра

$$D_p = D_k / \cos \alpha = 0,75 / \cos 45^\circ = 1,061 \text{ м.}$$

Наибольший допускаемый диаметр одиночного отверстия, не требующего укрепления,

$$d_0 = 2 \left\{ [(s - c)/s_p - 0,8] \sqrt{D_p (s - c)} - c_{ш} \right\} = 2[(1(4 - 1) 10^{-3}/(2,5 \cdot 10^{-3}) - 0,8] \sqrt{1,061 (4 - 1) 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-3}} = 0,043 \text{ м} = 43 \text{ мм.}$$

Так как внутренний диаметр штуцера $d > d_0$ ($50 \text{ мм} > 43 \text{ мм}$), то отверстие необходимо укреплять. Расчетная длина внешней части штуцера, участвующая в укреплении отверстия:

$$\begin{aligned} l_{1p} &= \min \left\{ l_1; 1,25 \sqrt{(d + 2c_{ш}) (s_{ш} - c_{ш})} \right\} = \\ &= \min \left\{ 0,125; 1,25 \sqrt{(50 + 2 \cdot 1) 10^{-3} (4 - 1) 10^{-3}} \right\} = \min \{0,125; 0,0156\} = \\ &= 15,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}. \end{aligned}$$

Расчетный диаметр отверстия, не требующего укрепления, при отсутствии избыточной толщины обечайки

$$d_{0p} = 0,4 \sqrt{D_p (s - c)} = 0,4 \sqrt{1,061 (4 - 1) 10^{-3}} = 22,6 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

В случае укрепления отверстия только внешней частью штуцера должно выполняться условие, в котором $s_{ш,р} = 0,1_{ш,р} = 0$:

$$(l_{1p} + s - s_p - c) (s_{ш} - s_{ш,р} - c_{ш}) x_1 + \sqrt{D_p (s - c)} (s - s_p - c) \geq 0,5 (d_p - d_{0p}) s_p,$$

где $x_1 = [\sigma]_{ш}/[\sigma] = 1$, так как материал штуцера и корпуса одинаков (сталь 12Х18Н12Т); $d_p = d + 2c_{ш} = 0,052 \text{ м}$ — для нормального штуцера.

Тогда

$$\begin{aligned} &(15,6 + 4 - 2,5 - 1) 10^{-3} (4 - 0,87 - 1) 10^{-3} \cdot 1 + \\ &+ \sqrt{1,061 (4 - 1) 10^{-3} (4 - 2,5 - 1) 10^{-3}} > 0,5 (0,052 - 0,0226) 2,5 \cdot 10^{-3}; \\ &62,44 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 > 36,75 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2, \end{aligned}$$

т.е. условие выполняется.

18.3.3. Для цилиндрической обечайки корпуса горизонтального кожухотрубчатого теплообменника (см. рис. 18.9), работающего под внутренним давлением, рассчитать укрепление отверстия штуцера торообразной вставкой.

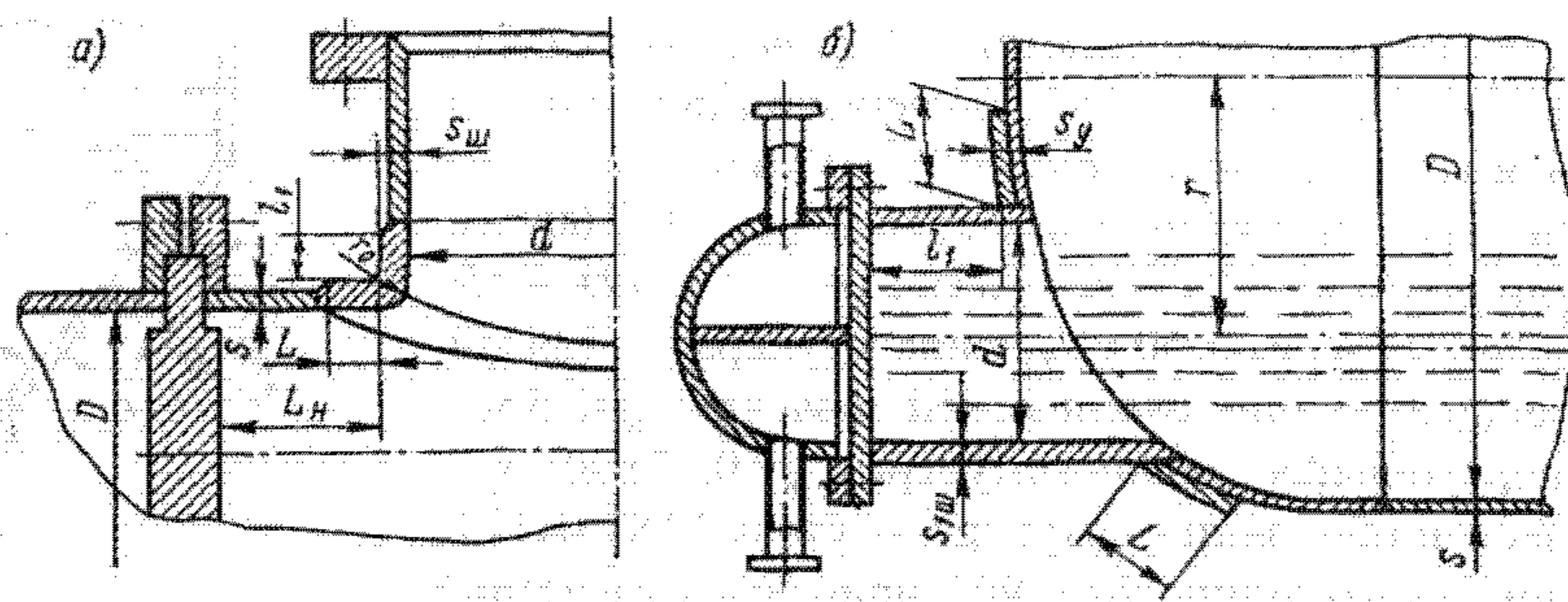


Рис. 18.9. Укрепление отверстия штуцера: *а* — торообразной вставкой на кожухе теплообменника; *б* — накладным кольцом на эллиптическом днище горизонтального аппарата

Исходные данные. Наружная поверхность штуцера отстоит от трубной решетки на расстоянии $L_H = 90$ мм (рис. 18.9, *а*), внутренний диаметр аппарата $D = 1,2$ м, диаметр штуцера $d = 0,35$ м, длина штуцера $l_1 = 0,2$ м, исполнительная ширина торообразной вставки $L = 50$ мм, расчетная и исполнительная толщина стенки обечайки корпуса $s_p = 8,5$ мм, $s = 12$ мм, расчетная и исполнительная толщина стенки штуцера $s_{ш.p} = 2,5$ мм, $s_{ш} = 16$ мм, материал корпуса и штуцера — сталь СтЗСП, прибавка к расчетной толщине стенки $c = c_{ш} = 1$ мм, внутренний радиус торообразной вставки $r_o = 24$ мм.

Решение. Расчетная длина образующей обечайки в зоне укрепления ($s_y = 0$)

$$L_o = \sqrt{D_p(s - c)} = \sqrt{1,2(12 - 1)10^{-3}} = 114,9 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 114,9 \text{ мм},$$

где $D_p = D = 1,2$ м.

Так как $L_H < L_o$, штуцер считается близко расположенным к трубной решетке.

Расчетный диаметр отверстия штуцера

$$d_p = d + 1,5(r_o - s_p) + 2c_{ш} = 0,35 + 1,5(24 - 8,5)10^{-3} + 2 \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 0,375 \text{ м}.$$

Расчетная длина штуцера

$$\begin{aligned} l_{1p} &= \min \{l_1; 1,25 \sqrt{(d + 2c_{ш})(s_{ш} - c_{ш})}\} = \\ &= \min \{0,2; 1,25 \sqrt{(0,35 + 2 \cdot 1 \cdot 10^{-3})(16 - 1)10^{-3}}\} = \\ &= \min \{0,2; 0,0908\} = 90,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}. \end{aligned}$$

Расчетный диаметр отверстия, не требующего укрепления, при отсутствии избыточной толщины обечайки

$$d_{0,p} = 0,4 \sqrt{D_p(s - c)} = 0,4 \sqrt{1,2(12 - 1)10^{-3}} = 0,046 \text{ м} = 46 \text{ мм}.$$

Условие укрепления отверстия выполняется ($\kappa_1 = [\sigma]_{ш}/[\sigma] = 1$):

$$\begin{aligned} &(l_{1p} + s_{ш} - s_p - c_{ш})(s_{ш} - s_{ш,p} - c_{ш}) + L(s_{ш} - s_p - c_{ш}) + \\ &+ (L_H - L)(s - s_p - c) > 0,5(d_p - d_{0,p})s_p; \\ &(90,8 + 16 - 8,5 - 1)10^{-3}(16 - 2,5 - 1)10^{-3} + 50 \cdot 10^{-3}(16 - 8,5 - 1)10^{-3} + \\ &+ (90 - 50)10^{-3}(12 - 8,5 - 1)10^{-3} > 0,5(0,375 - 0,046)8,5 \cdot 10^{-3}; \\ &1641,25 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 > 1398,25 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2. \end{aligned}$$

18.3.4. Для цилиндрической обечайки кожухотрубчатого конденсатора, работающего под вакуумом, рассчитать укрепление отверстия внешней отбортовкой стенки аппарата (см. рис. 18.10, *б*).

Исходные данные. Внутренний диаметр аппарата $D = 1$ м, внутренний диаметр штуцера $d = 0,3$ м, длина штуцера $l_1 = 0,2$ м, длина цилиндрической части аппарата $L = 4$ м, внутренний радиус отбортовки $r_o = 10$ мм, материал корпуса и штуцера — сталь Ст3сп5, расчетная и исполнительная толщина обечайки $s_p = 6,3$ мм, $s = 12$ мм, расчетная и исполнительная толщина штуцера $s_{ш,p} = 0,92$ мм, $s_{ш} = 10$ мм, прибавки к расчетной толщине стенки $c = c_{ш} = 1,5$ мм.

Решение. Расчетный диаметр отверстия штуцера

$$d_p = d + 1,5(r_o - s_p) + 2c_{ш} = 0,3 + 1,5(10 - 6,3) \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} = \\ = 0,309 \text{ м} = 309 \text{ мм}.$$

Наибольший диаметр отверстия штуцера, не требующего дополнительного укрепления,

$$d_o = 2 \left\{ [(s - c)/s_p - 0,8] \sqrt{D_p(s - c)} - c_{ш} \right\} = \\ = 2 \left\{ [(12 - 1,5) \cdot 10^{-3}/(6,3 \cdot 10^{-3}) - 0,8] \sqrt{1(12 - 1,5) \cdot 10^{-3}} - 1,5 \cdot 10^{-3} \right\} = 0,175 \text{ м},$$

где $D_p = D = 1$ м.

Так как $d_p > d_o$, укрепление отверстия диаметром $d = 0,3$ м необходимо.

Расчетный диаметр отверстия, не требующего укрепления, при отсутствии избыточной толщины стенки обечайки

$$d_{0p} = 0,4 \sqrt{D_p(s - c)} = 0,4 \sqrt{1(12 - 1,5) \cdot 10^{-3}} = 0,041 \text{ м}.$$

Расчетная длина штуцера

$$l_{1p} = \min \left\{ l_k; 1,25 \sqrt{(d + 2c_{ш})(s_{ш} - c_{ш})} \right\} = \\ = \min \left\{ 0,2; 1,25 \sqrt{(300 + 2 \cdot 1,5) \cdot 10^{-3} (10 - 1,5) \cdot 10^{-3}} \right\} = \\ = \min \{0,2; 0,0634\} = 63,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Условие укрепления отверстия отбортовкой выполняется ($\chi_1 = 1$):

$$(l_{1p} + s - s_p - c)(s_{ш} - s_{ш,p} - c_{ш}) + \sqrt{D_p(s - c)(s - s_p - c)} > 0,5(d_p - d_{0p})s_p; \\ (63,4 + 10 - 6,3 - 1,5) \cdot 10^{-3} (10 - 0,92 - 1,5) \cdot 10^{-3} + \\ + \sqrt{1(12 - 1,5) \cdot 10^{-3} (12 - 6,3 - 1,5) \cdot 10^{-3}} > 0,5(0,309 - 0,041) 6,3 \cdot 10^{-3}; \\ 943 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 > 844 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

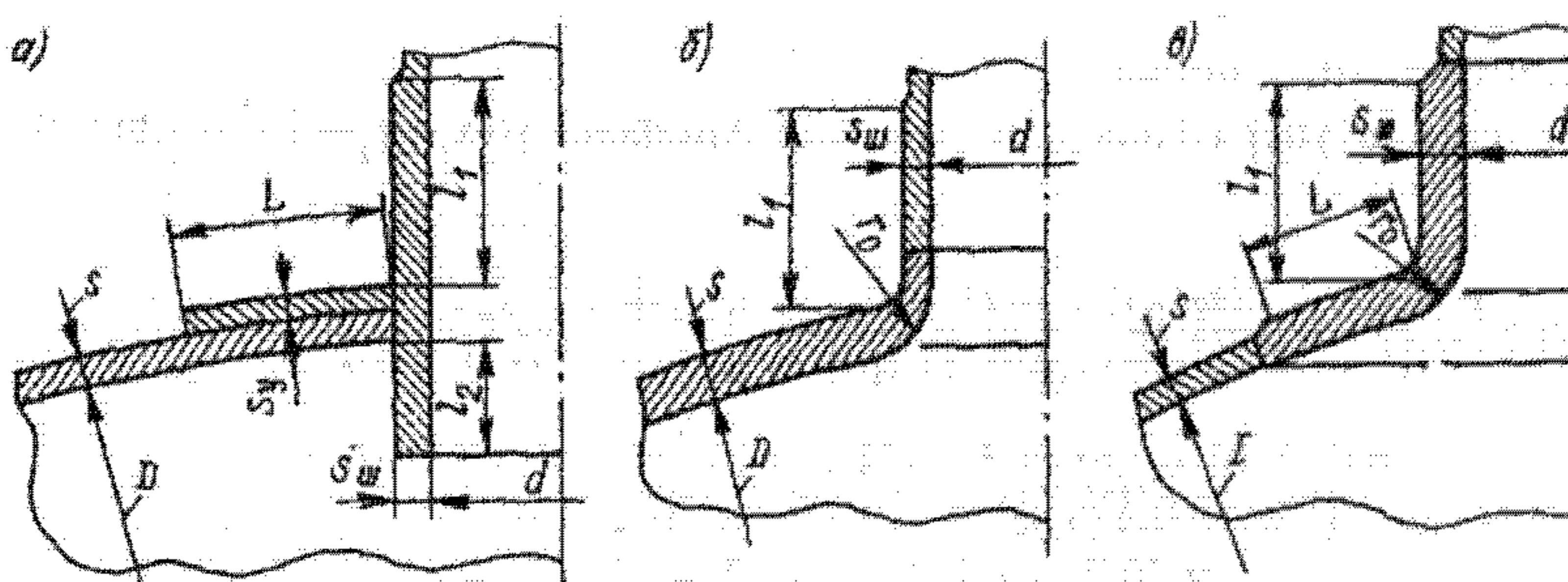


Рис. 18.10. Конструкции укрепления отверстий накладным кольцом и утолщением стенки штуцера (а), отбортовкой (б) и торообразной вставкой (в).

18.3.5. Определить допускаемое внутреннее избыточное давление для узла сопряжения штуцера и эллиптического днища (см. рис. 18.9, б) горизонтального цельносварного аппарата, снабженного трубным пучком.

Исходные данные. Внутренний диаметр аппарата $D = 2800$ мм, диаметр штуцера $d = 400$ мм, длина штуцера $l_1 = 200$ мм, расчетная и исполнительная толщина днища аппарата $s_p = 7$ мм, $s = 10$ мм, расчетная и исполнительная толщина стенки штуцера $s_{ш,p} = 1,6$ мм, $s_{ш} = 6$ мм, расчетная и исполнительная толщина

накладного кольца $s_y = s_{y,p} = 6$ мм, материал аппарата штуцера и накладного кольца — сталь СтЗсп, допускаемые напряжения в рабочем состоянии $[\sigma] = 120,6$ МПа, расстояние от центра укрепляемого отверстия до оси эллиптического днища $r = 900$ мм, расстояние до ближайшего отверстия $\Delta = 1,4$ м, прибавка к расчетной толщине стенки $c = c_p = 1,5$ мм, коэффициент прочности сварных швов $\varphi = 1$. Штуцера расположены на равном расстоянии от оси днища.

Решение. Расчетный диаметр укрепляемого днища для места расположения штуцера

$$D_p = 2D \sqrt{1 - 3(r/D)^2} = 2 \cdot 2,8 \sqrt{1 - 3(0,9/2,8)^2} = 4,65 \text{ м.}$$

Расчетный диаметр отверстия смешенного штуцера

$$d_p = (d + 2c_w)/\sqrt{1 - (2r/D_p)^2} = (0,4 + 2 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3})/\sqrt{1 - (2 \cdot 0,9/4,65)^2} = 0,437 \text{ м.}$$

Расчетный диаметр отверстия при отсутствии избыточной толщины стенки днища

$$d_{0p} = 0,4 \sqrt{D_p(s - c)} = 0,4 \sqrt{4,65(10 - 1,5) \cdot 10^{-3}} = 0,079 \text{ м.}$$

Ширина зоны укрепления в окрестностях штуцеров

$$L_0 = \sqrt{D_p(s_{y,p} + s - c)} = \sqrt{4,65(6 + 10 - 1,5) \cdot 10^{-3}} = 0,26 \text{ м.}$$

Так как $\Delta = 1,4 \text{ м} > 2L_0 = 2 \cdot 0,26 = 0,52 \text{ м}$, отверстие штуцера можно считать одиночным.

Расчетная длина внешней части штуцера (внутренняя отсутствует)

$$\begin{aligned} l_{1p} &= \min \{l_3; 1,25 \sqrt{(d + 2c_w)(s_w - c_w)}\} = \\ &= \min \{0,2; 1,25 \sqrt{(0,4 + 2 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3})(6 - 1,5) \cdot 10^{-3}}\} = \\ &= \min \{0,2; 0,0532\} = 53,2 \cdot 10^{-3} \text{ м.} \end{aligned}$$

Допускаемое внутреннее давление для узла сопряжения штуцера и днища

$$[\rho]_{\text{ш}} = [2k_1\varphi [\sigma](s - c)/(D_p + s - c)] v,$$

где $k_1 = 2$ — для эллиптического днища.

Так как материал днища, штуцера и накладного кольца одинаков, то $x_1 = x_2 = 1$ и тогда при $l_2 = 0$

$$\begin{aligned} v &= \min \left\{ 1; \frac{L_0(s_{y,p} + s - c) + (l_{1p} + s_{y,p} + s - s_p - c)(s_w - c_w)}{[L_0 + 0,5(d_p - d_{0p}) + k_1(l_{1p} + s_{y,p} + s - s_p - c)(d + 2c_w)/D_p](s - c)} \right\} = \\ &= \min \left\{ 1; \frac{0,26(6 + 10 - 1,5) \cdot 10^{-3} + (53,2 + 6 + 10 - 7 - 1,5) \cdot 10^{-3}(6 - 1,5) \cdot 10^{-3}}{[0,26 + 0,5(0,437 - 0,079) + 2(53,2 + 6 + 10 - 7 - 1,5) \times} \right. \\ &\quad \left. \times 10^{-3}(0,4 + 2 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3})/4,65](10 - 1,5) \cdot 10^{-3}} \right\} = \\ &= \min \{1; 1,06\} = 1; \end{aligned}$$

$$[\rho]_{\text{ш}} = [2 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 120,6 (10 - 1,5) \cdot 10^{-3}/(4,65 + 10 \cdot 10^{-3} - 1,5 \cdot 10^{-3})] / 1 = 0,88 \text{ МПа.}$$

Для обеспечения прочности необходимо, чтобы в рабочем состоянии выполнялось условие $\rho_p \leq [\rho]_{\text{ш}}$.