

АНАНЬЕВ, В. Д. и др.
БИ-13-9786.

+

СЗУЗГ

2898/76

A-64



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Б 1-13-9786

ДЕПОНИРОВАННАЯ ПУБЛИКАЦИЯ

Дубна 19 76

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
Лаборатория нейтронной физики

СЗ 485
A-64

В.Д.Ананьев, С.В.Зинкевич

Б1-13-9486

ПРОТОЧНАЯ ГЕЛИЕВАЯ СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ
ПОДВИЖНОГО ОТРАЖАТЕЛЯ ИБР-2

Рукопись рассмотрена
в ИЯИ им. П.А.Черенкова
д. 14 мая 1976 г. *Уб*

Дубна, 1976 г.

Введение

Согласно проекту /1/, охлаждение кожуха подвижного отражателя осуществляется водой. Такая система имеет существенный недостаток - неравномерность охлаждения (см. рис. I). Конструкция кожуха подвижного отражателя (ПО) не позволяет обеспечить равномерное охлаждение из-за невозможности симметричного окружения кожуха водяной рубашкой. В частности, не представляется возможным эффективно охлаждать мембрану кожуха, расположенную вплотную к активной зоне. Это может привести к значительному линейному расширению неохлаждаемых областей кожуха по сравнению с охлаждаемыми участками и последующему перекосу конструктивных элементов.

Равномерное охлаждение кожуха подвижного отражателя можно осуществить путем циркуляции гелия, охлаждая газ за пределами ПО. Циркуляция гелия может быть обеспечена за счет вентиляционного эффекта непосредственно от роторов ПО. Вращая с большой скоростью гелий в ограниченном объеме кожуха, ОПО за счет центробежных сил создает избыточное давление газа на периферии кожуха и разрежение в его центральной части возле оси ротора. Измеренный в процессе испытаний макета ПО перепад статических давлений в кожухе приблизительно равен 600 мм водяного столба. Если сделать тангенциальный отвод гелия от цилиндрической стенки кожуха, перепад давлений можно повысить до 900 мм H_2O (с учетом разрежения в центре).*)

Цель данной работы - рассмотрение возможности создания гелиевого контура с теплообменником для охлаждения кожуха ПО по принципу, изложенному выше.

*) Измеренная величина полного давления на периферии кожуха ПО при номинальных оборотах ротора СПО равна 850 мм H_2O , а разрежение в центральной части - 50 мм H_2O .

I. Компоновка гелиевого контура с теплообменником. Выбор конструкции теплообменника.

Поскольку перепад давлений на прокачку гелия в контуре невелик, необходимо стремиться к максимально возможному сокращению длины контура для уменьшения потерь давления на трение. Удобнее всего спроектировать контур так, как показано на рис. 2. Теплообменник при такой схеме располагается вертикально за пределами тележки ПО с откатной защитой. Конструкцию теплообменника надо выбрать, исходя из необходимости создания развитой поверхности теплосъёма при достаточно высокой скорости течения гелия по его тракту. Таким требованиям удовлетворяет аппарат с 37 трубками с внутренним диаметром 20 мм и длиной 1,5 м. Длина подводящих магистралей составит 6,5 м. Эскиз такого теплообменника представлен на рис. 3.

2. Исходные данные для расчета

Тепловая мощность
~~Количество тепла~~, отводимая гелием от подвижного отражателя, складывается из суммы мощностей, затрачиваемых на преодоление лобового сопротивления лопастей ОПО и ДПО, на трение о газ боковых поверхностей роторов и на радиационный нагрев лопастей ОПО и ДПО. Согласно проектировочным расчетам и измерениям, проведенным на макете ПО, значения этих величин, соответственно, равны 52 кВт, 3 кВт и 12,5 кВт. Таким образом, полная отводимая мощность составит 67,5 кВт. Поскольку расчет лобового сопротивле-

ния проводился, исходя из 100%-ой концентрации гелия в кожухе, которая на практике может принимать значения от 95% до 100%, реальная полная мощность $\overset{N}{\text{будет}}$ равна приблизительно 70 кВт. Подогрев гелия в кожухе $\overset{\Delta T_r}{\text{примем}}$ равным 60° . Тогда потребный расход гелия через контур можно определить по уравнению теплового баланса:

$$G_r = \frac{N}{c_p \cdot \Delta T_r} = \frac{70 \cdot 10^3}{5,204 \cdot 10^3 \cdot 60} = 0,224 \text{ кг/сек.}$$

Величина поверхности теплосъёма в теплообменнике равна

$$F_r = n \pi d_n L_{r0} = 37 \cdot \pi \cdot 0,025 \cdot 1,5 = 4,35 \text{ м}^2,$$

где n - количество трубок для протока гелия, $n = 37$,

d_n - наружный диаметр трубки, $d_n = 25$ мм,

L_{r0} - длина трубки, $L_{r0} = 1,5$ м.

Корпус теплообменника выберем цилиндрическим с внутренним диаметром $D_{r0} = 0,2$ м.

Срабатывающий в контуре перепад давлений примем равным $\Delta P = 0,09$ ати.

3. Гидравлический расчет контура

3.1. Расчет местных сопротивлений.

Потери давления на преодоление местных сопротивлений имеют место при поворотах потока, при внезапных и постепенных расширениях и сужениях потока:

$$\Delta P_{mc} = \sum_{mc \Sigma} \cdot \frac{\rho_r w_r^2}{2g},$$

где $\sum_{mc \Sigma}$ - суммарный коэффициент потерь на преодоление местных сопротивлений.

При выбранной конструкции контура (см. рис. 2) сумма местных сопротивлений в изгибах труб, согласно справочным данным /2/, равна $\approx 1,05$.

Потери скоростного напора на внезапное сужение и расширение потока гелия в теплообменнике можно рассчитать по формулам /3/:

$$\sum \zeta_{\text{вх.то}} = 0,7 \cdot \left(1 - \frac{f_z}{F}\right) - 0,2 \cdot \left(1 - \frac{f_z}{F}\right)^3;$$

$$\sum \zeta_{\text{вых.то}} = \left(1 - \frac{f_z}{F}\right)^2,$$

где $\sum \zeta_{\text{вх.то}}$ - потери на входе в охлаждающий тракт,

а $\sum \zeta_{\text{вых.то}}$ - потери на выходе,

f_z - суммарное проходное сечение для гелия в охлаждающем тракте теплообменника,

F - сечение до входа $\sqrt{\quad}$ / после выхода газа в охлаждающем тракте.

При подстановке численных значений величины f_z и F , соответственно, равны:

$$f_z = 1,16 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2;$$

$$F = 3,14 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2.$$

и, соответственно,

$$\sum \zeta_{\text{вх.то}} = 0,24;$$

$$\sum \zeta_{\text{вых.то}} = 0,14.$$

Потери скоростного напора в диффузоре и конфузоре теплообменника при углах раскрытия 20° равны /2/:

$$\sum \zeta_{\text{дифф}} \approx 0,17;$$

$$\sum \zeta_{\text{конф}} \approx 0,08.$$

Таким образом, сумма потерь давления на преодоление местных сопротивлений тракта равна

$$\sum \zeta_{мс \Sigma} \approx 1,7.$$

3.2. Выбор диаметра труб подводящей и отводящей магистралей.

Примем внутренний диаметр труб для подвода гелия к теплообменнику и к кожуху ПУ равным 110 мм. Тогда

$$F_{тр} = \frac{\pi D^2}{4} = 9,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2.$$

Скорость гелия в такой трубе для обеспечения требуемого расхода равна

$$w_{г1} = \frac{G_{г}}{\rho_{г} F_{тр}} = 157 \text{ м/сек.}$$

Число Рейнольдса:

$$Re_{г} = \frac{w_{г1} \cdot D}{\nu_{г}} = 1,234 \cdot 10^5.$$

Коэффициент потерь на трение в трубе

$$\zeta = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re_{г}}} = 1,69 \cdot 10^{-2}.$$

Потери на трение в трубе длиной 6,5 м:

$$\zeta \frac{l}{D} = 1,00.$$

Аналогичным образом рассчитываем потери на трение в теплообменнике.

Скорость гелия в трубке теплообменника

$$\begin{aligned}w_{\tau 0} &= \frac{G_{\tau}}{\rho_{\tau} f_{\tau}} = 129 \text{ м/сек}; \\Re_{\tau 0} &= 1,84 \cdot 10^4; \\ \xi_{\tau 0} &= 2,71 \cdot 10^{-2}; \\ \xi_{\tau 0} \frac{l}{d} &= 2,03.\end{aligned}$$

Сумма потерь на трение в контуре:

$$\left(\xi \frac{l}{d}\right)_{\Sigma} \approx 3,00.$$

Тогда скорость гелия в основной магистрали равна

$$w_{r2} = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P \cdot g}{\left[\left(\xi \frac{l}{d}\right)_{\Sigma} + \xi_{mc}\right] \rho}} = 157 \text{ м/сек.}$$

Поскольку $w_{r2} = w_{r1}$, принимаем окончательно $D = 110 \text{ мм.}$

4. Расчет температур гелия в кожухе ПО.

Коэффициент теплоотдачи от гелия к трубке теплообменника

$$\begin{aligned}\alpha_r &= \frac{Nu_r \lambda_r}{d} = \frac{0,018 \cdot Re_{\tau 0}^{0,8} \cdot \lambda_r}{d} = \\ &= \frac{0,018 \cdot (1,84 \cdot 10^4)^{0,8} \cdot 0,165}{0,02} = 382 \text{ вт / град.}\end{aligned}$$

Условный гидравлический диаметр для воды в элементарной ячейке охлаждающего тракта теплообменника (см. рис. 3)

$$d_{\text{э.кв}} = \frac{4 F_{\text{гидр}}}{P_{\text{гидр}}} \approx 5,0 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Расход воды через теплообменник принимаем равным $20 \text{ м}^3/\text{час}$, или $5,6 \text{ кг/сек}$. Тогда скорость воды в охлаждающем тракте составит

$$w_e = \frac{G_e}{\rho_e F_e}.$$

Полное проходное сечение для воды в охлаждающем тракте равно

$$\begin{aligned} F_e &= \frac{\pi D_{\text{то}}^2}{4} - n \frac{\pi d_n^2}{4} = \frac{\pi \cdot (0,192)^2}{4} - \frac{37 \cdot \pi \cdot (0,025)^2}{4} \\ &= 2,89 \cdot 10^{-2} - 1,81 \cdot 10^{-2} = 1,08 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2. \end{aligned}$$

Отсюда $w_e = 0,52 \text{ м/сек}$.

Скорость воды в охлаждающем тракте можно повысить с помощью поперечных перегородок, применяемых в стандартных теплообменниках (см. рис. 3). В этом случае скорость воды приблизительно составит

$$w_e = 2 \text{ м/сек}.$$

Рассчитываем коэффициент теплоотдачи от воды к стальной трубке:

$$\begin{aligned} Re_e &= \frac{w_e \cdot d_{\text{кв}}}{\nu_{\text{в}}} \approx 1,24 \cdot 10^4; \\ Nu_e &= 0,023 \cdot Pr_e^{0,4} \cdot Re_e^{0,8} = 0,023 \cdot (13,0)^{0,4} \cdot (1,24 \cdot 10^4)^{0,8} = 121,5; \\ \alpha_e &= \frac{Nu_e \cdot \lambda_{\text{в}}}{d_{\text{кв}}} = \frac{121,5 \cdot 0,62}{5,0 \cdot 10^{-3}} = 15000 \text{ Вт/м}^2 \text{ град}. \end{aligned}$$

Таким образом, коэффициент теплопередачи от гелия к воде равен

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_r} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_e}} = 368 \text{ вт/м}^2\text{град.}$$

Средний перепад температур между водой и гелием в теплообменнике равен

$$\overline{\Delta T} = \frac{N}{K F_T} = \frac{70 \cdot 10^3}{368 \cdot 4,35} \approx 44,0^\circ.$$

Если считать среднюю температуру воды T_B равной 20°C , то средняя температура гелия в теплообменнике окажется равной

$$\overline{T_r} \approx T_B + \overline{\Delta T} \approx 64^\circ\text{C},.$$

а начальная и конечная температуры гелия будут равны, соответственно,

$$\begin{aligned} T_{r\text{вх}} &= \overline{T_r} + \frac{\Delta T_r}{2} \cong 94^\circ\text{C}, \\ T_{r\text{вых}} &= \overline{T_r} - \frac{\Delta T_r}{2} \cong 34^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

Приведенный выше расчет не является окончательным. Он выполнен для принципиального обоснования возможности применения новой системы охлаждения ПО. В частности, здесь не учтена теплоотдача от гелия к воздуху через стенки кожуха ПО и магистральные трубы вследствие относительно малого вклада охлаждения воздухом в полный теплосъём. С учетом этого дополнительного отвода тепла реальная средняя температура гелия будет несколько ниже.

5. Выводы

Преимущества предложенной схемы охлаждения заключаются в следующем:

а) обеспечивается равномерное симметричное охлаждение кожуха ПО, благодаря чему возможно лишь осесимметричное радиальное расширение кожуха без поперечных короблений и ~~относительных~~ деформаций различных участков кожуха;

б) исключается система подвода воды непосредственно к подвижному отражателю, что облегчает условия эксплуатации.

Недостатком новой системы является незначительное повышение температуры гелия на периферии кожуха ПО (приблизительно на 20°), что приведёт к некоторому увеличению температур лопастей ОПО и ДПО.

Вопрос о применении рассмотренного варианта охлаждения целесообразно рассмотреть при создании последующего образца подвижного отражателя ИБР-2.

Смирнов
А. А.

Литература

1. В.Д.Ананьев и др. "Особенности конструкции и оптимизация модулятора реактивности реактора ИБР-2". АЭ, 1971, т.31, вып. 4.
2. "Справочник машиностроителя", т. 2, Машгиз, 3-е изд. 1960 г.
3. Т.Хоблер. "Теплопередача и теплообменники". Госхимиздат, 1961.
4. Г.А.Долматовский. "Справочник технолога по обработке металлов резанием". Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы. Москва, 1962 г.
5. В.А.Григорьев, Т.А.Колач, В.С.Соколовский, Р.М.Темкин. "Краткий справочник по теплообменным аппаратам". Госэнергоиздат, 1962 г.
6. В.П.Исаченко, В.А.Осипова, А.С.Сукомел. "Теплопередача". Изд. "Энергия", 1969 г.

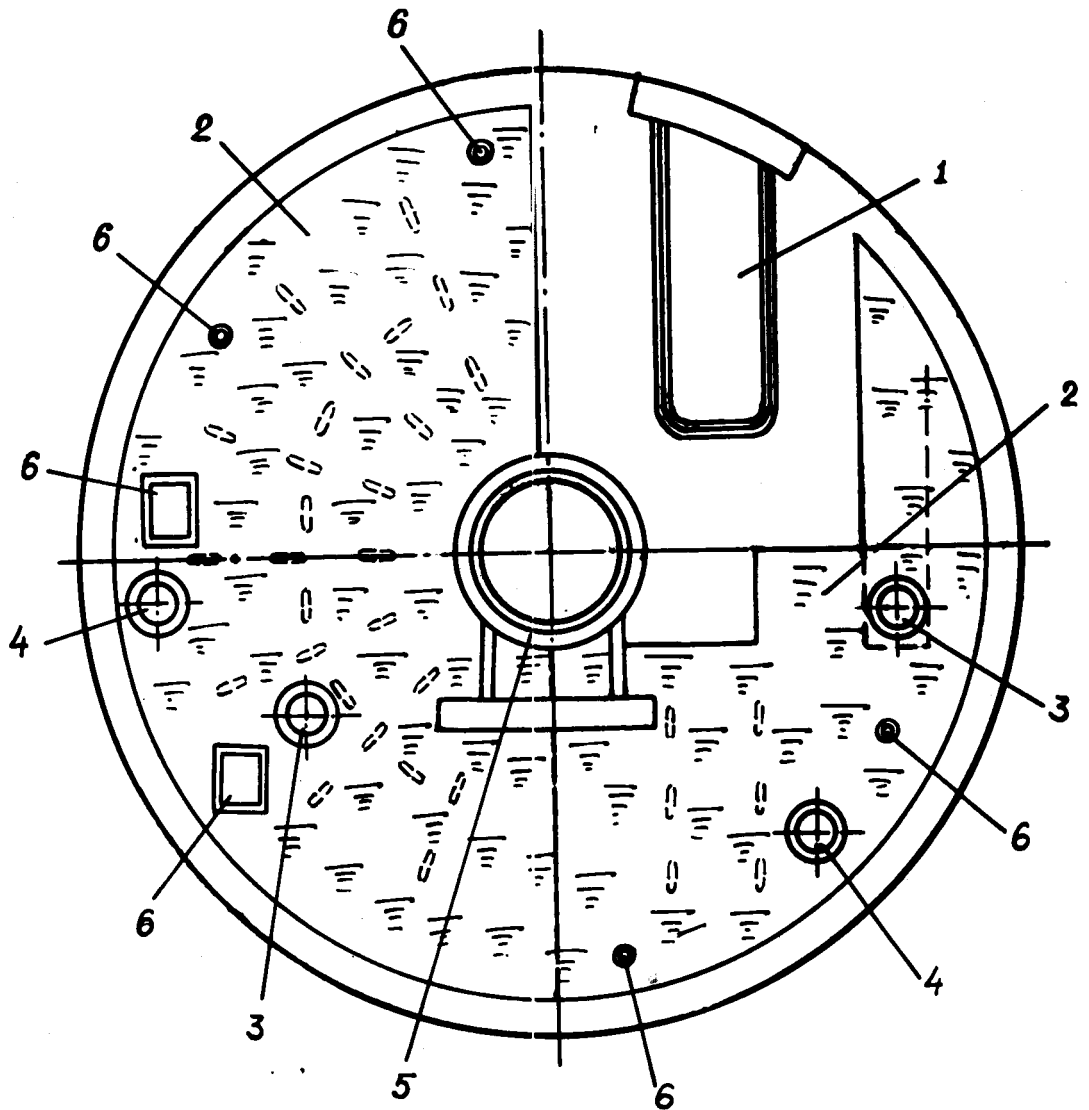


Рис. 1. Эскиз кожуха подвижного отражателя (вид со стороны передней опоры ОПО).

Обозначения: 1 - мембрана, 2 - рубашки охлаждения, 3 - подвод воды, 4 - отвод воды, 5 - передняя опора ОПО, 6 - места установки датчиков КИП и СУЗ.

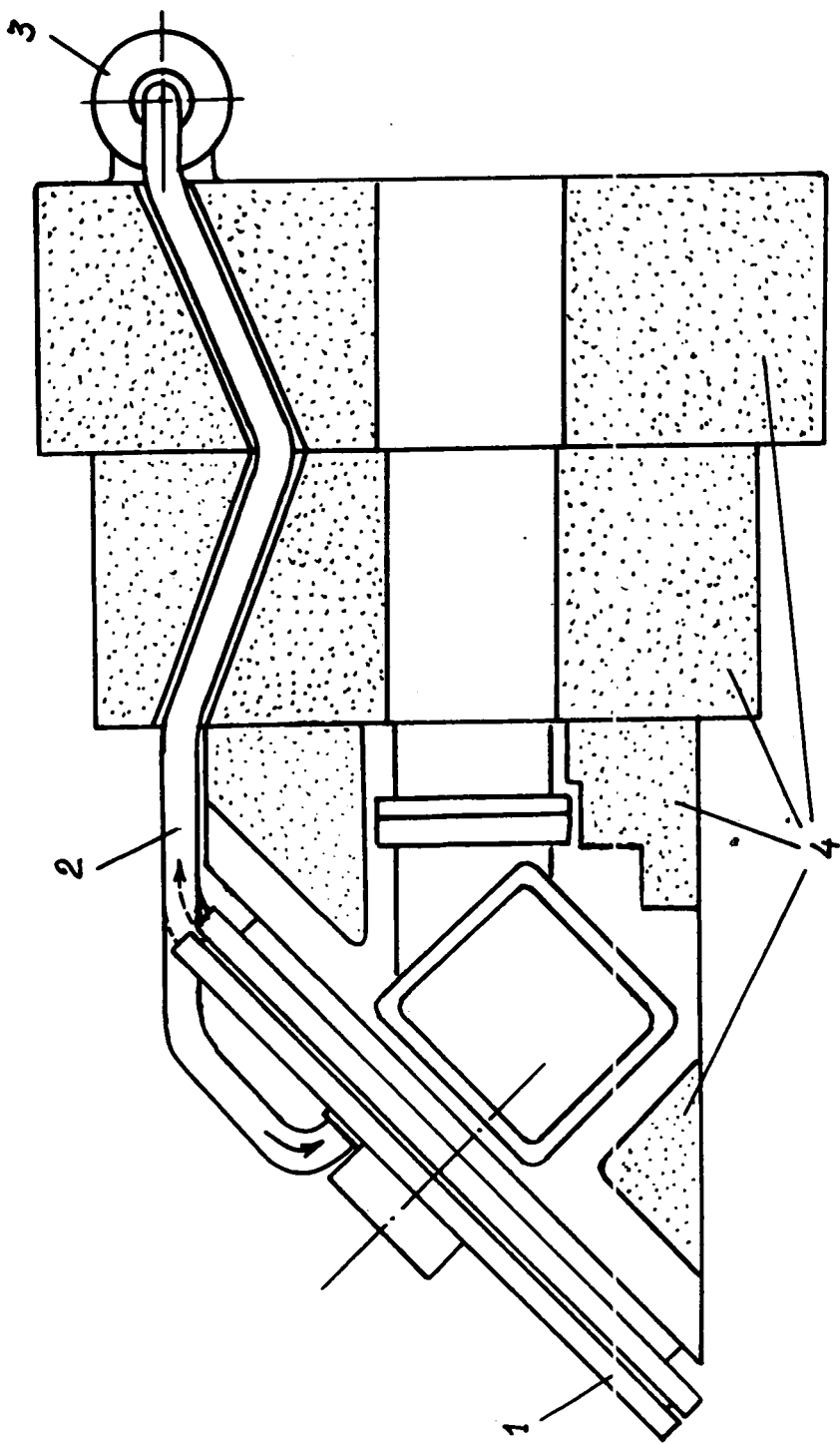


Рис. 2. Компоновка зелцевого контура с теплообменником.
 Обозначения: 1 – кожух ПО, 2 – подводящие магистрали,
 3 – теплообменник, 4 – блоки разборной защиты.

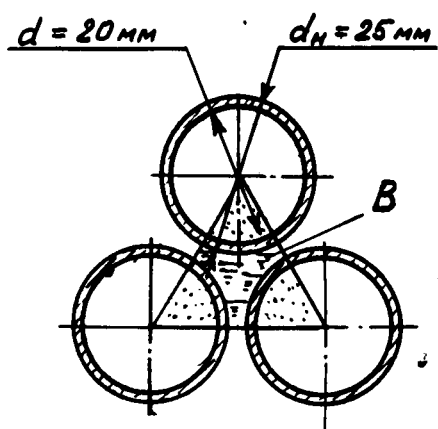
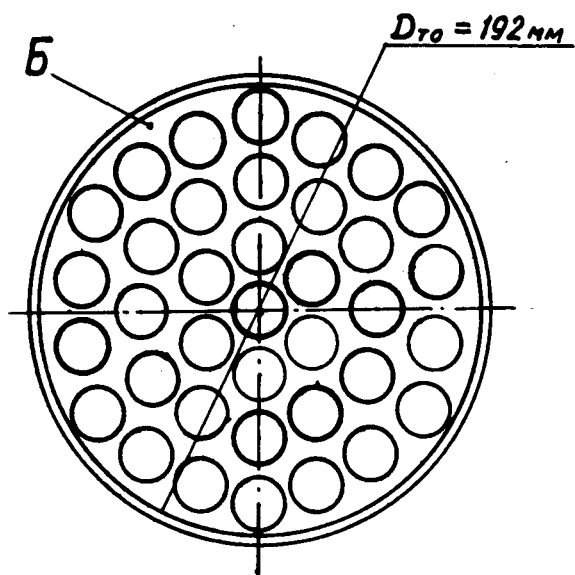
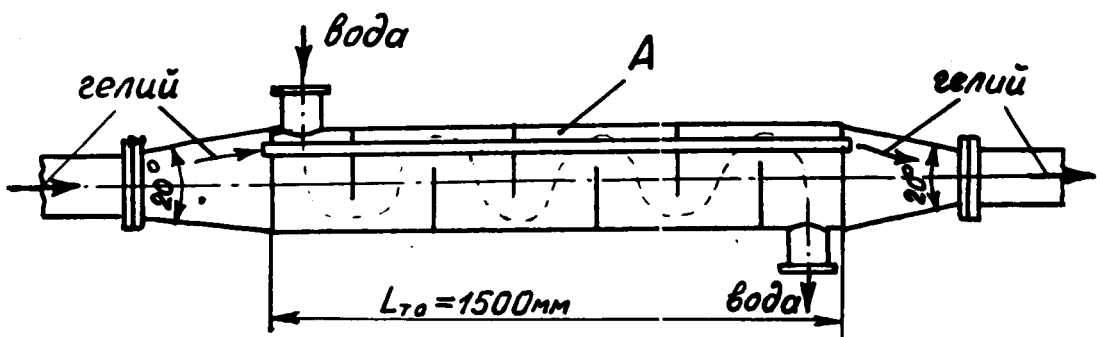


Рис. 3. Эскиз теплообменника (А - продольный разрез, Б - поперечный разрез, В - элементарная ячейка).