

/ ПЕРЕМЕШИВАНИЕ

Цель перемешивания заключается в снижении градиента концентрации или температуры, либо обоих одновременно, в перемешиваемой среде.

Применяется как самостоятельный процесс для получения однородной смеси или как средство для интенсификации тепловых, массообменных и химических процессов.

Перемешивающее оборудование разделяют на четыре основные группы:

1. для газов,
2. для ньютоновских жидкостей,
3. для неньютоновских жидкостей,
4. для твердых сыпучих материалов.

1. Перемешивание газов.

Различают перемешивание:

а/ нескольких газов /У-образное соединение труб, сопло, вентилятор/,

б/ газы и пары /то же/,

в/ газы и жидкости /диспергирование – сопло, центробежные разбрызгиватели и др./,

г/ газы и твердые вещества /пневмотранспорт, взвешенный слой/.

Перемешивание в газовой среде редко применяется как самостоятельный процесс и обычно рассматривается совместно с другими процессами /абсорбция, сушка и др./.

2. Перемешивание ньютоновских жидкостей.

Различают перемешивание:

– циркуляционное,

– струйное,

– барботажное,

– ультразвуковое /акустическое/,

– пульсационное,

– механическое с помощью мешалок:

– лопастные,

– пропеллерные,

– турбинные,

– специального типа.

Некоторые виды перемешивания и типы мешалок представлены на рис. 75-88.

3. Перемешивание неньютоновских жидкостей

Проводится с помощью мешалок и смесителей.

Мешалки /вязкость жидкости до 100 Па.с/	Смесители /вязкость смеси до 10^4 - 10^5 Па.с/
– турбинные	– роторные
– якорные	– червячно-лопастные
– гребенчатые	– валковые
– комбинированные	

4. Перемешивание твердых сыпучих материалов.

Проводится в смесителях. Различают смесители:

Тихоходные $Fr < 30$	Быстроходные $Fr > 30$
– лопастные	– ударные
– барабанные	– центробежные
– шнековые	

МЕХАНИЧЕСКОЕ ПЕРЕМЕШИВАНИЕ НЬЮТОНОВСКИХ ЖИДКОСТЕЙ

Теоретические основы

Движение потока перемешиваемой жидкости, вызываемое мешалкой, очевидно, можно описать дифференциальным уравнением Навье-Стокса, которое после преобразования согласно теории подобия приводится к критериальному уравнению /11/. Для стационарного процесса перемешивания выпадает критерий Ho , тогда уравнение /11/ примет вид:

$$E_u = f(Fr, Re) \quad /75/$$

Раскрывая критерии подобия, получим функциональную зависимость между величинами:

$$\Delta p = f(\mu, \rho, g, W, l) \quad /76/$$

Однако при перемешивании в жидкой среде мы имеем сложную эпюру распределения скоростей и давлений в аппарате с мешалкой. Схема аппарата представлена на рис. 89.

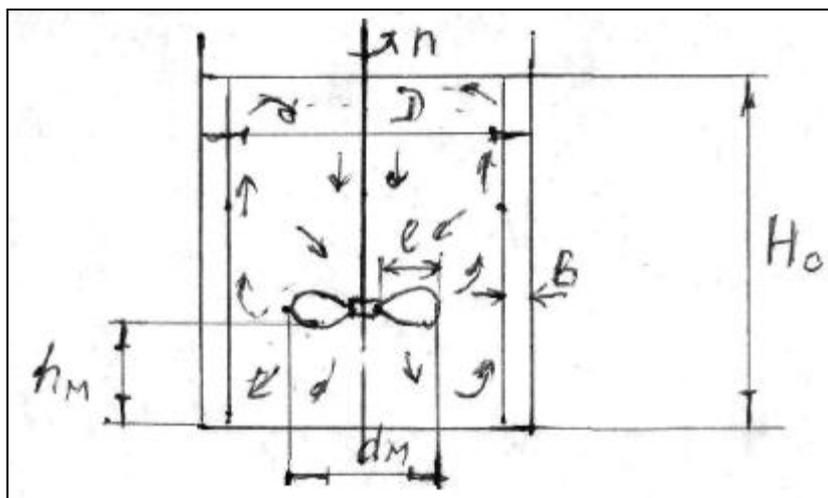


Рис. 89. Схема аппарата с перегородками и мешалкой.

Можно предположить, что скорость движения жидкости в любой точке аппарата будет пропорциональна числу оборотов мешалки и диаметру мешалки:

$$W = f(n, d_M) \quad /77/$$

Мешалку можно рассматривать как насос, тогда полезная мощность

$$N \cong V_C \cdot \Delta p \quad /78/$$

В свою очередь расход жидкости будет зависеть от скорости и диаметра аппарата:

$$V_C = f(n, d_M, D) \quad /79/$$

Таким образом от зависимости /76/ мы переходим к зависимости /80/:

$$N = \varphi(\mu, \rho, g, n, d_M, D) \quad /80/$$

Методом анализа размерностей зависимость /80/ переводятся в критериальное уравнение:

$$K_N = C \cdot Re_u^m \cdot Fr_u^n \cdot \Gamma_D^a \quad /81/$$

где

$$K_N = \frac{N}{\rho n^3 \cdot d_M^5} \text{ -- критерии мощности,}$$

$$Re_u = \frac{\rho n \cdot d_M^2}{\mu} \text{ -- центробежный критерий Рейнольдса,}$$

$$Fr_u = \frac{n^2 \cdot d_M}{g} \text{ -- центробежный критерий Фруда.}$$

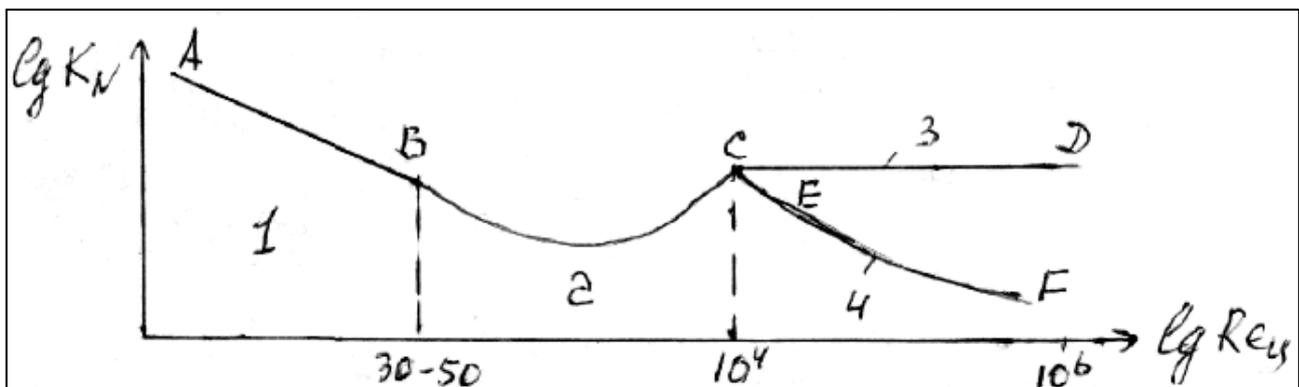
$$\Gamma_D = \frac{D}{d_M} \text{ -- геометрический симплекс.}$$

Для механического перемешивания геометрических симплексов может быть несколько /все параметры относятся к диаметру мешалки/:

$$\Gamma_{H_0} = \frac{H_0}{d_M}; \Gamma_{h_M} = \frac{h_M}{d_M}; \Gamma_B = \frac{B}{d_M}; \Gamma_1 = \frac{1}{d_M}.$$

При условии геометрического подобия / $\Gamma = \text{const}$ и переходят в константу "С"/ и при отсутствии воронки / $Fr_u \approx 0$, для устранения воронки устанавливают перегородки/ уравнение /81/ принимает вид:

$$K_N = C \cdot Re_u^m \quad /82/$$



Общий вид зависимости /82/, полученный опытным путем, представлен на рис. 90.

Рис. 90. Общая зависимость критерия мощности от критерия Рейнольдса.

Режимы перемешивания и расчет полезной мощности

На графике рис. 90 можно отметить четыре характерных области.

1. Участок АВ, $Re_u < /30-50/$, ламинарный режим перемешивания. В этом случае

$$K_N = C_1 \cdot Re_u^{-1}$$

$$\frac{N}{\rho n^3 d_M^5} = C_1 \cdot \frac{\mu}{\rho n d_M^2}$$

$$N = C_1 \cdot \mu \cdot n^2 \cdot d_M^2; \quad N \mu \quad /83/$$

В ламинарном режиме мощность, потребляемая мешалкой, пропорциональна вязкости среды.

2. Участок ВС, $Re_u = 50-10^4$, переходный режим. Для расчета мощности используются опытные графические данные.
3. Участок CD, $Re_u = 10^4-10^6$, турбулентный режим. Тогда

$$KN = C_2$$

$$N = C_2 \cdot \rho \cdot n^3 \cdot d_M^5; \quad N \mu \quad /83/$$

В турбулентном режиме мощность перемешивания пропорциональна плотности среды.

1. Участок EF, $Re_u = 10^4-10^6$, турбулентный режим с образованием воронок. В этом случае необходимо учитывать критерий Фруда. Однако на практике стараются избежать этот режим из-за неустойчивости перемешивания и вибрации вала. Мешалка выходит из зацепления с жидкостью, как это показано на рис. 91, поэтому критерий мощности уменьшается.

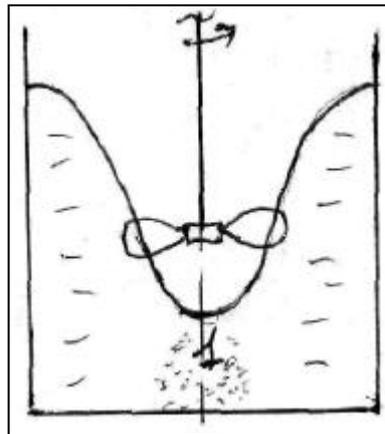


Рис. 91. Перемешивание с образованием воронок.

1 – область вынужденного вихря, где собираются частицы суспензии.

Мощность двигателя мешалки

Определяется по формуле

$$N_{д} = \frac{N}{\eta}, \quad /85/$$

где $\eta = 0,6 - 0,9$ – КПД мешалки.

Для ньютоновских жидкостей пусковой момент не учитывается.

Интенсивность и эффективность перемешивания

Если τ – время для достижения определенного технологического результата, то произведение $\tau \cdot n$ /86/

может служить показателем интенсивности мешалки. Самой интенсивной признается турбинная мешалка.

Произведение

$$N \cdot \tau \quad /87/$$

может служить показателем эффективности мешалки. Самой эффективной признается пропеллерная мешалка.

Пути интенсификации перемешивания.

Основные трудности при моделировании механического перемешивания в турбулентном режиме возникают из-за изменения масштаба турбулентности /размер вихря и путь его смещения/. В малом объеме аппарата соответственно невелик масштаб турбулентности и перемешивание осуществляется более интенсивно, чем в большом объеме аппарата.

В соответствии с этим можно отметить следующие пути интенсификации процесса перемешивания.

1. Уменьшение диаметра или объема аппарата.
2. Увеличение диаметра мешалки, $d_M \rightarrow D$.
3. Секционирование и размещение нескольких мешалок в одном аппарате.
4. Применение комбинированного перемешивания, например, барботаж + ультразвук + механическое перемешивание.

НЕНЬЮТОНОВСКИЕ ЖИДКОСТИ

Методика определения мощности механического перемешивания

1. Зная тип неньютоновской жидкости, принимают число оборотов "n" мешалки и определяют среднюю скорость сдвига

$$\dot{\gamma}_{cp} = k \cdot n \quad \text{мин}^{-1} \quad /88/$$

Для псевдопластичной жидкости принимается $k = 13$, для бингамовской $k = 10$, для дилатантной $k = 12,8 \cdot \left(\frac{d_M}{D} \right)^{0,5}$.

2. По реологической характеристике определяют эффективную вязкость жидкости. Например, "А" жидкости, для точки дилатантной рис. 92.

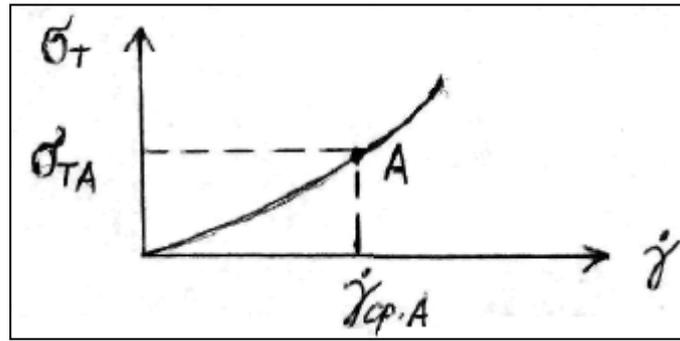


Рис. 92. Реологическая характеристика дилатантной жидкости.

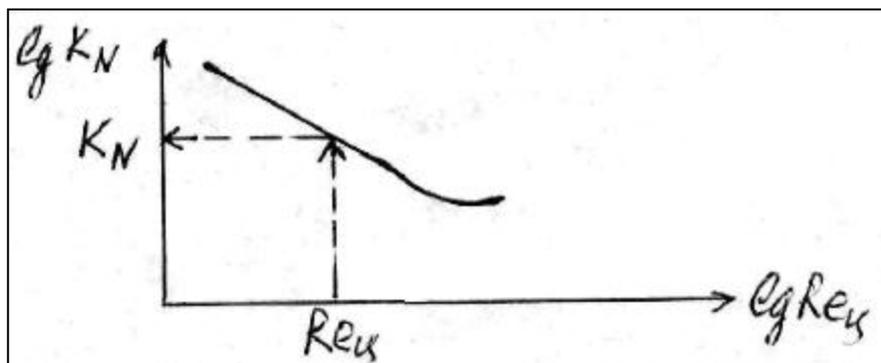
Эффективная вязкость для т. А

$$\mu_{\text{э}} = \frac{\sigma_{\text{тА}}}{\dot{\gamma}_{\text{ср.А}}} \quad /89/$$

3. Зная диаметр мешалки, определяют число Рейнольдса

$$\text{Re}_{\text{и}} = \frac{\rho \cdot n \cdot d_{\text{М}}^2}{\mu_{\text{э}}} \quad /90/$$

4. Для неньютоновских жидкостей перемешивание возможно в ламинарном или /в крайнем случае/ переходном режимах. Из зависимости $K_{\text{N}} = f(\text{Re}_{\text{и}})$, представленной



графически на рис. 93, определяют критерий мощности K_{N} .

Рис. 93. Зависимость критерия мощности от числа Рейнольдса для неньютоновских жидкостей

Полезная мощность

$$N = K_{\text{N}} \cdot \rho \cdot n^3 \cdot d_{\text{М}}^5 \quad /91/$$

5. Мощность двигателя. Определяется по формуле:

$$N_{дв} = \frac{N + N_n}{\eta},$$

/92/

где η – кпд привода,

N_n – мощность пуска /определяется по эмпирическим формулам/.

ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ

Тепловые процессы представляют собой переход тепла от одного теплоносителя к другому и подчиняются основному уравнению теплопередачи:

$$Q = K \cdot F \cdot \Delta t_{\text{ср.}} \quad /93/$$

где Q – расход тепла от первого теплоносителя ко второму, Вт,

K – коэффициент теплопередачи, Вт/м²·К,

F – поверхность теплопередачи, м²,

$\Delta t_{\text{ср.}}$ – средняя разность температур между теплоносителями, К/°С.

К тепловым процессам относятся.

1. **НАГРЕВАНИЕ** – увеличение температуры вещества путем подвода тепловой энергии.
Температура t увеличивается, $t > t_{\text{нач.}}$
2. **ОХЛАЖДЕНИЕ** – уменьшение температуры вещества путем отвода тепловой энергии.
Температура t уменьшается, $t < t_{\text{нач.}}$
3. **КОНДЕНСАЦИЯ** – перевод пара в жидкое состояние путем отвода тепловой энергии.
 $t_{\text{конд.}} = \text{const.}$
4. **ИСПАРЕНИЕ** – перевод жидкости в парообразное состояние путем подвода тепловой энергии.

$$t_{\text{исп.}} = \text{const.}$$

Частные случаи.

КИПЕНИЕ – испарение жидкости при $t_{\text{кип.}} = \text{const.}$

ВЫПАРИВАНИЕ – кипение растворов твердых нелетучих веществ при $t_{\text{кип.}} = \text{const.}$

ВОЗГОНКА – /сублимация/ – перевод твердого вещества в парообразное состояние, минуя жидкую фазу.

$$t_{\text{возг.}} = \text{const.}$$

Классификация тепловых процессов в развернутом виде с указанием аппаратуры представляется ниже.



Тема: "Нагревание, охлаждение и конденсация" – предлагается студентам для самостоятельного изучения по учебнику А.Н. Плановского /глава седьмая/. [1, 1972 г. – стр. 160-181].

Классификация теплообменников и основы их конструктивного расчета представлены в пособии:

Тепловые процессы. Методические указания по лекционному курсу. /Сост.: В.С. Сальников, Б.Н. Басаргин/ - Ярославль, ЯПИ, 1982. – 26 с.

Дополнительные рисунки с небольшими пояснениями представлены далее на стр. 89 - 104 /данные МКТИ/.

Из этой тематики более подробно мы рассмотрим обработку опытных данных по лабораторной работе №23 "Испытание элементного теплообменника" и полные тепловые расчеты дефлегматора и кипятильника для курсового проекта по ректификации.

СПОСОБЫ ПОДВОДА И ОТВОДА ТЕПЛА В ПРОМЫШЛЕННОЙ АППАРАТУРЕ. ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ.

В химической промышленности применяются различные способы подвода и отвода тепла.

Для подвода тепла использует электроэнергию, топочные газы, полученные сжиганием газообразного, жидкого или твердого топлива, и промежуточные теплоносители. В ряде случаев источниками тепла служат экзотермические процессы в химических реакторах; здесь отбор тепла, необходимый с технологической точки зрения, позволяет в то же время утилизировать его, что повышает экономичность производства.

Выбор способа подвода тепла и выбор теплоносителей определяются потребной температурой, технологическими и технико-экономическими соображениями.

При электрообогреве тепло может подводиться в нагревательных устройствах с электросопротивлением или внешним индукционным обогревом (рис. Т-1), токами высокой частоты (рис.2), а также в электродуговых печах. При этом достигаются высокие температуры (при нагревании электросопротивлением – порядка 1000 °С, а при электродуговом нагреве – несколько тысяч градусов). Температура может легко регулироваться отключением или включением части элементов или изменением напряжения. Установки с электрообогревом – весьма компактны. Однако их распространение лимитируется дефицитностью и сравнительно высокой стоимостью электроэнергии.

Обогрев топочными газами осуществляют либо непосредственно в печах, либо – в вынесенных теплообменниках (рис. 3). Такой способ подвода тепла прост, обеспечивает достижение высоких температур (до ~1000 °С), однако обладает рядом существенных недостатков: опасность взрывов и пожаров, невозможность быстрого и точного регулирования температуры, громоздкость установок из-за низких коэффициентов теплоотдачи от газов (10-60 Вт/м².К) и низкой объемной теплоемкости последних.

Для подвода тепла при более низких температурах (до нескольких сот градусов) предпочитают использовать промежуточные теплоносители.

Наиболее широко распространенным теплоносителем при необходимости

обеспечения температуры не выше 180-200 °С является насыщенный водяной пар. При возможности транспортирования на большие расстояния он обладает рядом существенных достоинств: доступность: высокий коэффициент теплоотдачи (~ 10000 Вт/м²), обеспечивающий компактность установки; высокая теплота конденсации, обеспечивающая низкий его расход; равномерность обогрева и возможность тонкого регулирования температуры изменением давления.

На рис.4 показан обогрев "острым", а на рис 5 – "глухим" паром. При наиболее широко распространенном способе использования водяного пара в поверхностных теплообменниках ("глухой" пар) достижение полной конденсации пара в теплообменном аппарате обеспечивается установкой на выходе из него конденсатоотдатчиков (рис.5 и 6).

Для работы при более высоких температурах, чем те, которые достигаются с помощью водяного пара, применяют высокотемпературные теплоносители – парообразные и жидкие.

Среди паровых органических теплоносителей наибольшее распространение нашла дифенильная смесь, содержащая около трех четвертей дифенилового эфира и около четверти дифенила. При атмосферном давлении жидкая дифенильная смесь кипит при 258 °С, а при повышенном давлении (~8 ат) ее можно применять до ~ 400 °С (выше начинается интенсивное разложение смеси). Дифенильная смесь, хотя и горюча, но практически взрывобезопасна и нетоксична.

Пары высококипящих органических жидкостей, как и водяной пар, получают в котлах, обогреваемых топочными или технологическими газами (в последнем случае котлы называют котлами-утилизаторами) и направляют для использования в теплообменники; образовавшийся в последних конденсат вновь возвращают в котел.

При использовании жидких высокотемпературных теплоносителей применяют либо обогрев с помощью рубашек (бань), либо (чаще) циркуляционный обогрев (рис.7). Среди таких теплоносителей можно назвать перегретую воду при давлениях и температурах, близких к критическим (ее можно греть до 300-350°С), минеральные масла, органические и кремнийорганические соединения (в том числе и уже упоминавшуюся, жидкую дифенильную смесь), расплавленные соли и металлы (последние применяют при температурах вплоть до ~ 1000°С). '

Отвод тепла чаще всего осуществляют с помощью естественных хладагентов - воды и воздуха, а при необходимости достижения более низких температур - с помощью низкотемпературных агентов.

Вода на сегодня является наиболее распространенным охлаждающим агентом. Это обусловлено ее доступностью, высокими коэффициентами теплоотдачи и высокой теплоемкостью (по сравнению с воздухом). Наиболее рациональное использование воды связано с организацией на химических предприятиях водооборотных циклов: воду направляют на испарительное охлаждение воздухом в градирнях (рис.36), после чего вновь используют в холодильниках.

При этом резко сокращается потребность в свежей воде из естественных водоемов.

Несмотря на очевидные преимущества воды, как хладагента, в теплотехническом отношении, в последнее время наблюдается явно выраженная тенденция к расширению использования отвода тепла воздухом. Это связано со все увеличивающимся дефицитом воды, а также с пониженными сроками службы водяных холодильников, по сравнению с воздушными (вода корродирует материалы теплообменников и загрязняет их поверхности отложениями, что требует частых чисток). Отвод тепла воздухом может осуществляться как путем его непосредственного контакта с охлаждаемым веществом (как в упомянутых градирнях), так и в поверхностных холодильниках. В последнем случае из-за низких значений коэффициента теплоотдачи к воздуху теплообменные поверхности делают ребренными (рис.23, 25, 27, 28).

Отвод тепла при температурах ниже тех, которые могут быть обеспечены применением воды или воздуха, осуществляют с помощью низко-температурных агентов, причем достижение низких температур обеспечивается методами искусственного охлаждения, рассматриваемыми ниже - в разделе "Холодильные установки".

Теплообменные аппараты, или теплообменники, по способу передачи тепла классифицируются на поверхностные, смесительные и регенеративные.

В поверхностных теплообменниках, которые наиболее широко распространены в промышленности, горячий и холодный теплоносители разделены поверхностью стенки. На рис. Т-5 и от Т-9 до Т-35 представлены такие теплообменники с поверхностями, образованными: стенками аппарата (рис.5, 8, 11, 35), трубами (рис. 9 - 28) и каналами различной формы (рис.29 - 35). Характеристики этих аппаратов, их сопоставление и области рационального применения подробно рассматриваются на лекциях и в учебнике по курсу.

В качестве примеров смесительных теплообменников с непосредственным контактом теплоносителей могут быть названы уже упомянутые аппараты для обогрева "острым" паром (рис. 4), градирни (рис. 36), а также конденсаторы смешения (рис. 37) и аппараты с погружными горелками, рассмотренные в разделе "Выпарные установки и аппараты".

Принципы устройства регенеративных теплообменников очевидны из рис.38-40.

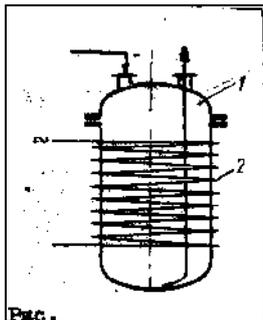


Рис. Т-1. Принципиальная схема электрического обогрева сопротивлением или индукцией.

1.Обогреваемый аппарат. 2.Нагревательный элемент в виде проволочной спирали или ленты при обогреве сопротивлением или индукционная катушка при обогреве индукцией /в последнем случае тепло выделяется в стенках аппарата из-за возникновения токов Фуко/.

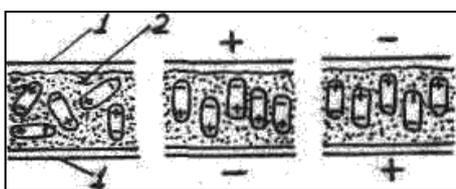


Рис. Т-2. Принцип высокочастотного /диэлектрического/ нагрева.

1. Пластины конденсатора, к которым подведен ток высокой частоты.
 2. Нагреваемый материал /диэлектрик/, в котором при смене знака поля происходит разогрев из-за колебательных движений при переориентации диполей и поляризации неполярных молекул.

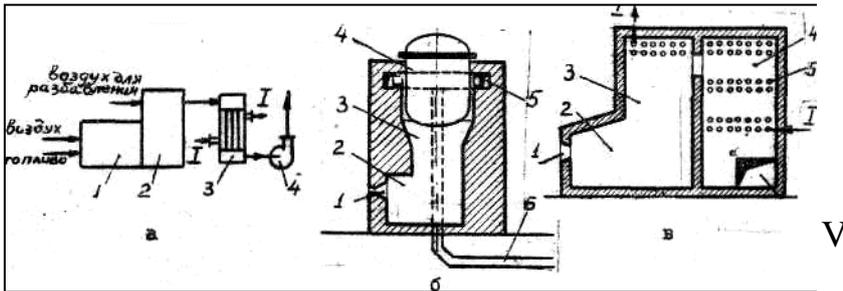


Рис. Т-3. Схемы обогрева топочными газами.

а) - в вынесенном теплообменнике.

1. Топка. 2. Камера смешения. 3. Теплообменник для нагревания вещества
 4. Дымосос.

б) - в котле или автоклаве, встроенном в печь.

1. Окно для подачи топлива и воздуха для сгорания. 2. Топка. 3. Топочная камера. 4. Обогреваемый аппарат. 5. Кольцевой канал. 6. Боров.

в) - в трубчатке, встроенной в печь.

1. Окно для подачи топлива и воздуха. 2. Топка. 3. Топочная камера. 4. Шахта. 5. S-образные трубы для нагревания вещества. 6. Боров

пар жидкость A-A

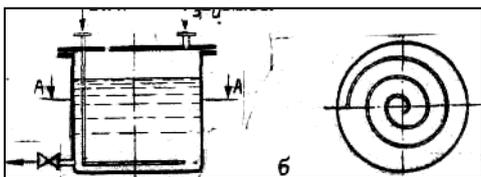


Рис. Т-4. Обогрев "острым" водяным паром.

а) - бесшумный сопловой подогреватель

1. Сопло. 2. Смешивающий диффузор

б) - паровой барботер

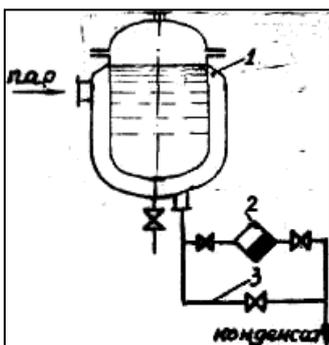


Рис. Т-5. Схема установки конденсатоотводчика на аппарате с обогревом "глухим" водяным паром.

1. Паровая рубашка. 2. Конденсатоотводчик, устанавливаемый ниже аппарата.

3. Обводная линия для обеспечения возможности осмотра и ремонта конденсатоотводчика или продувки парового пространства.

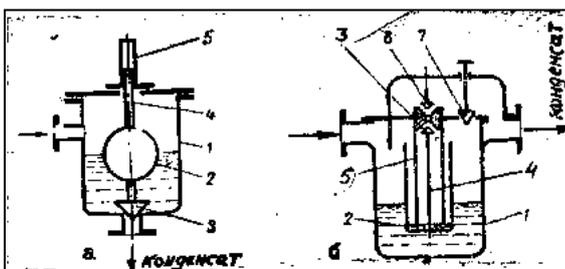


Рис. Т-6. Конденсатоотводчики /"конденсационные горшки"/.

а) - отводчик с закрытым поплавком (используются при давлении свыше 10 ат.)
 1. Корпус. 2. Поплавок, всплывающий при поступлении конденсата и открывающий клапан 3; с выходом конденсата поплавок опускается, и клапан закрывает выходное отверстие. 4 и 5. Стержень и направляющий стакан, фиксирующие вертикальное положение поплавка с клапаном.

б) - отводчик с открытым поплавком.

1. Корпус. 2. Стаканный поплавок, всплывающий при поступлении конденсата и закрывающий клапаном 3, крепящимся к стакану 2 стержнем 4, выходное отверстие; при дальнейшем поступлении конденсата он переливается через края поплавка, заполняет и топит его, открывая клапан 3, причем конденсат выдавливается по трубе 5, пока клапан вновь не закроется. 6. Обратный клапан. 7. Продувочный вентиль.

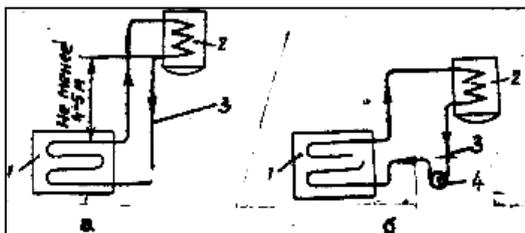


Рис. Т-7. Принципиальные схемы обогрева с естественной (а) и с принудительной (б) циркуляцией высокотемпературных теплоносителей.

1. Печь для нагрева теплоносителя. 2. Теплообменник. 3. Циркуляционный контур, перемещение жидкости в котором обеспечивается или за счет разности ее плотностей в нагретой и охлажденной ветвях (а) или насосом 4 (б).

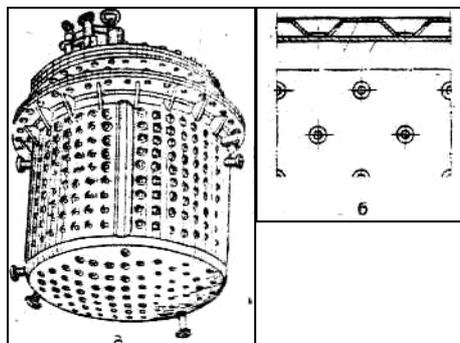


Рис. Т-8. Аппарат со штампованной рубашкой, соединенной с корпусом контактной сваркой (внешнее давление при этом может быть повышено до 70-80 ат, по сравнению с 8-10 ат для рубашек на фланцах).

а — аппарат; б - схема крепления рубашек.

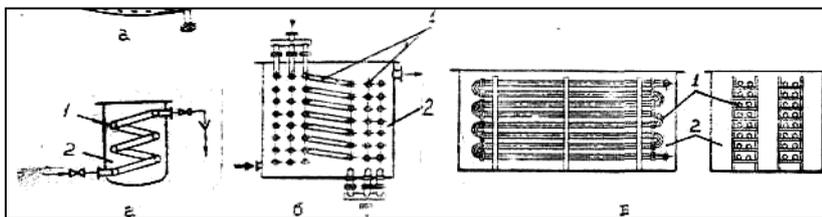


Рис. Т-9. Погружные теплообменники с одним (а) или несколькими (б) спиральными змеевиками и с прямыми трубами (в).

1. Погружные трубы. 2. Проточная или непроточная среда.

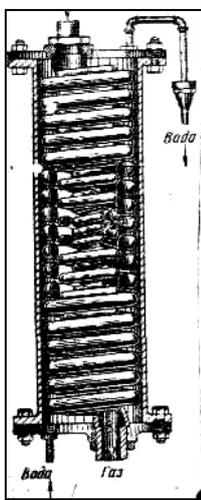


Рис. Т-10. Водяной холодильник для газа в реакторе высокого давления с несколькими концентрическими спиральными змеевиками.

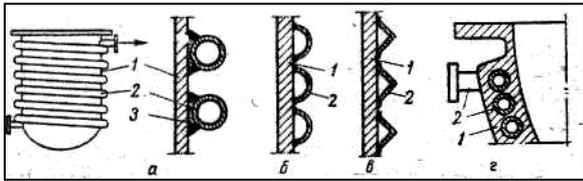


Рис. Т-11. Аппараты с наружными змеевиками.

а, б, в - с приваренными снаружи змеевиками различной формы; г - с

залитыми при изготовления в стенке змеевиками.

1. Корпус аппарата. 2. Змеевик. 3. Металлическая прокладка.

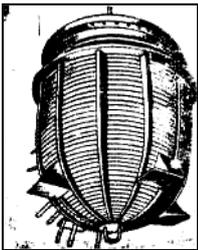


Рис. Т-12. Аппарат с приваренным снаружи змеевиком

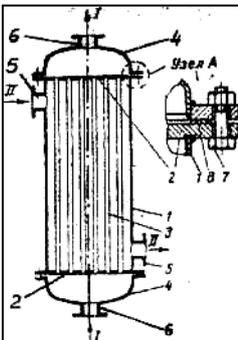


Рис. Т-13. Кожухотрубчатый теплообменник жесткой конструкции /I и II - теплоносители/.

1. Кожух. 2. Трубные решетки. 3. Трубы. 4. Крышки.

5 и 6. Штуцера для ввода и вывода теплоносителей, движущихся по межтрубному пространству и по трубам соответственно. 7. Болт. 8. Прокладка.

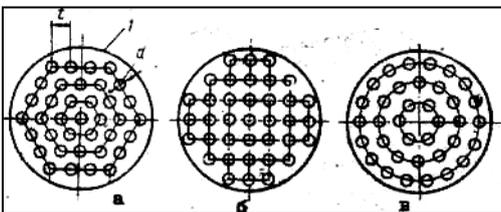


Рис. Т-14. Способы размещения труб в трубных решетках.

а - наиболее распространенный способ - по вершинам правильных шестиугольников (или равносторонних треугольников);

б - по вершинам квадратов; в - по концентрическим окружностям.

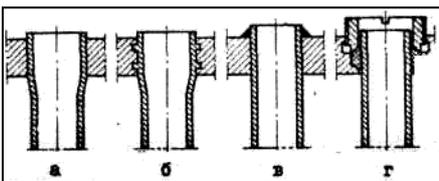


Рис. Т-15. Способы крепления труб в трубных решетках.

а - развальцовка; б - развальцовка в отверстиях с канавками; в - сварка; г - сальниковые уплотнения.

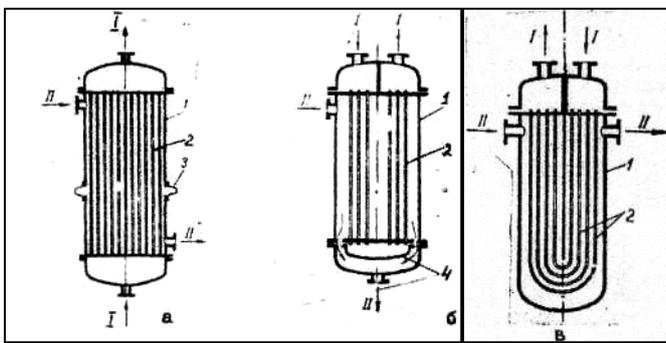


Рис. Т-16. Кожухотрубчатые теплообменники с компенсацией неодинаковости температурных удлинений труб и кожуха / I и II - теплоносители /.

а - теплообменник с линзовым компенсатором /полужесткая конструкция/; б - аппарат с плавающей головкой; в - аппарат с U- образными трубами.
1.Кожух. 2.Трубы. 3 .Линзовый компенсатор. 4.Плавающая головка.

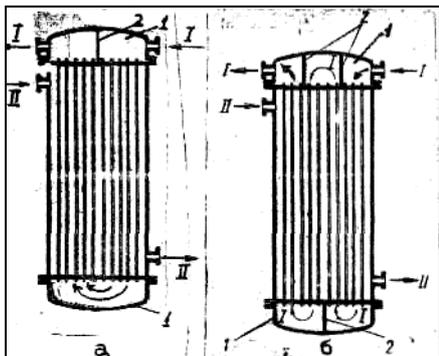


Рис. Т-17. Многоходовые (по трубному пространству) кожухотрубчатые теплообменники жесткой конструкции.

а - двухходовой; б - четырехходовой.
1.Крышки. 2.Перегородки в крышках.

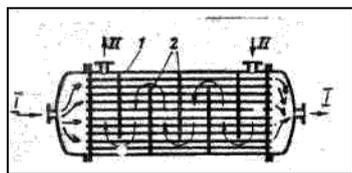


Рис. Т-18. Многоходовой (по межтрубному пространству) кожухотрубчатый теплообменник.

1.Кожух. 2.Перегородки.

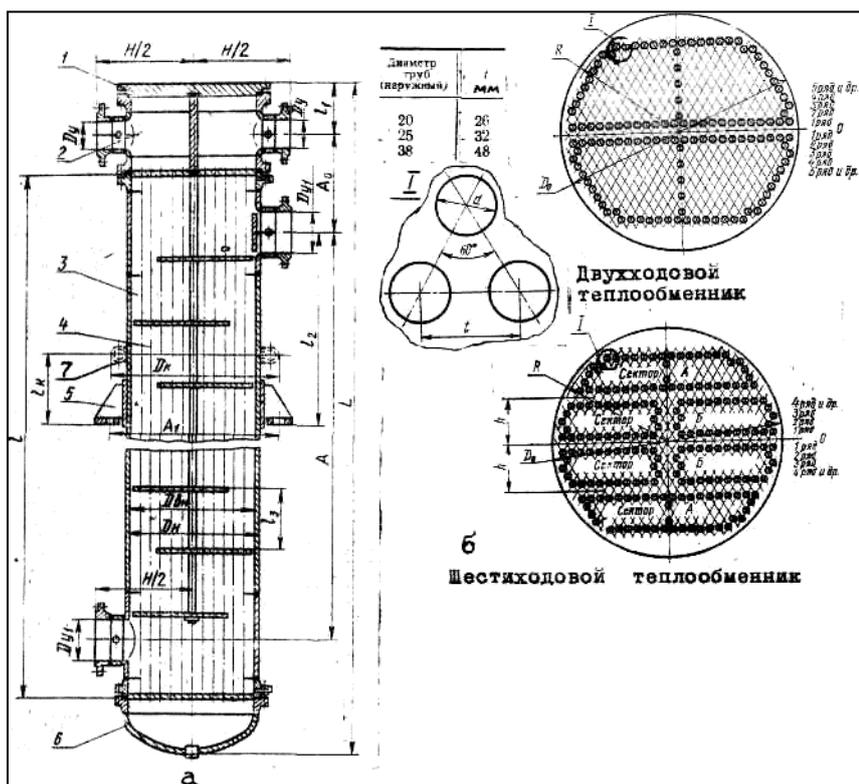


Рис. Т-19. Разрез аппарата (а) и размещение труб (б) для многоходовых теплообменников по ГОСТ 15120-69 и 15118-69.

1. Крышка распределительной камеры. 2. Распределительная камера. 3. Кожух. 4. Трубы. 5. Опора /лапы/. 6. Крышка. 7. Линзовый компенсатор.

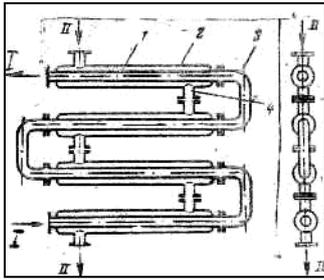


Рис. Т-20. Двухтрубный теплообменник типа "труба в трубе" (I и II – теплоносители).

1. Внутренние трубы. 2. Наружные трубы.
3. Соединительные колена /калачи/.
4. Соединительные патрубки.

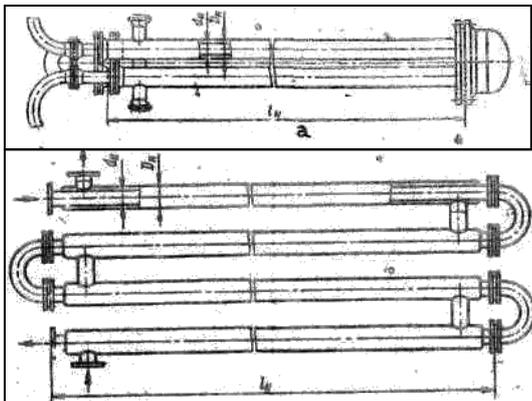


Рис. Т-21. Теплообменник "труба в трубе" по ГОСТ 9930-67.

а - однопоточные разборные;
б - однопоточные неразборные.

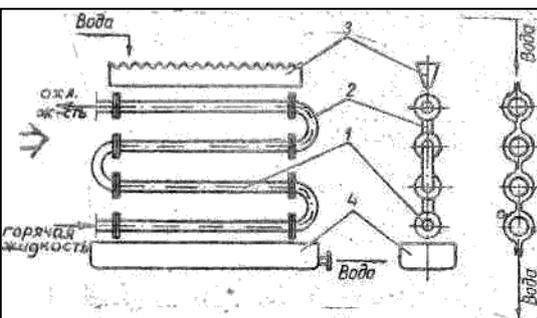


Рис. Т-22. Оросительный холодильник.

1. Трубы. 2. Соединительные колена (калачи). 3. Желоб для распределения охлаждающей воды.
4. Корыто для сбора воды.

а - прямоугольные
б - трапециевидные ребра.

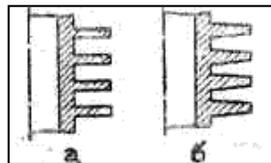


Рис. Т-23. Элементы трубчатого теплообменника с поперечным оребрением ребра;

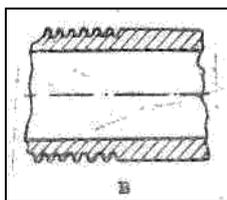
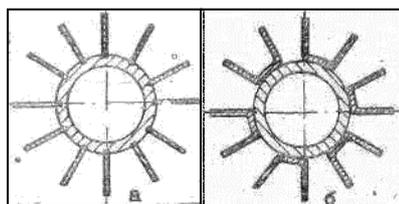


Рис. Т-24. Способы оребрения внутренних труб теплообменников "труба в трубе", используемые для интенсификации теплообмена при движении по кольцевому пространству

газа, вязкой жидкости или при ламинарном режиме потока.
а - ребра закреплены в канавках; б - корытообразные ребра;
в - оребрение накаткой.

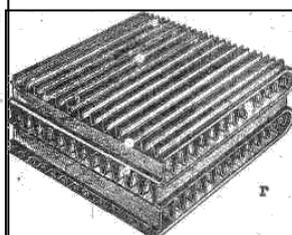
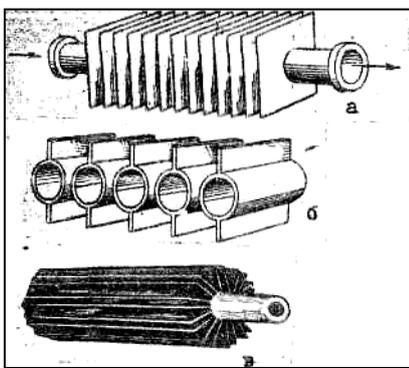


Рис. Т-25. Элементы теплообменников с оребрениями.
а - поперечное оребрение;
б - продольное "плавниковое"

оробрение;

в - продольное оребрение;

г - оребрение гофрированием плоских поверхностей теплообмена.

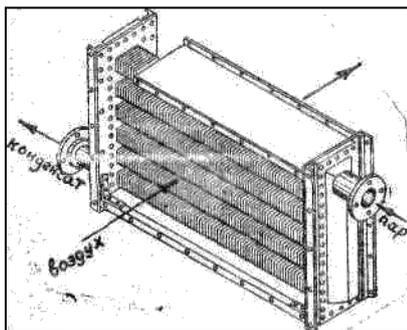


Рис. Т-26. Пластинчатый калорифер для подогрева воздуха.

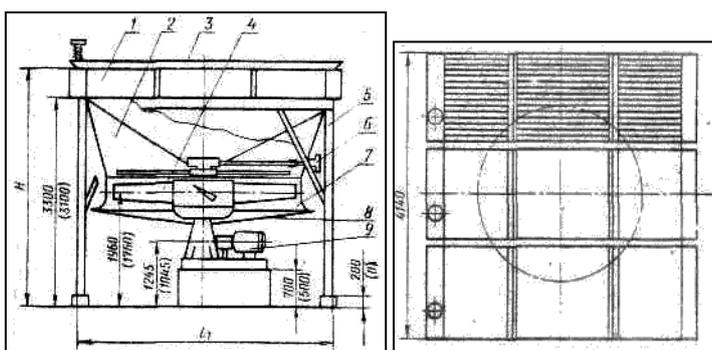


Рис. Т-27. Горизонтальные аппараты воздушного охлаждения (конденсаторы и холодильники) по ГОСТ 12854-72.

1. Три секции горизонтальных оребренных труб (коэффициенты оребрения для труб с внешними диаметрами 49 и 56 мм

составляют 9 и 14.6 соответственно). 2. Диффузор. 3. Жалюзи. 4. Крыльчатка вентилятора. 5. Металлоконструкция. 6. Дистанционный механизм поворота лопастей крыльчатки вентилятора для регулирования расхода подаваемого на охлаждение воздуха. 7. Коллектор. 8. Предохранительная сетка на входе воздуха. 9. Привод вентилятора.

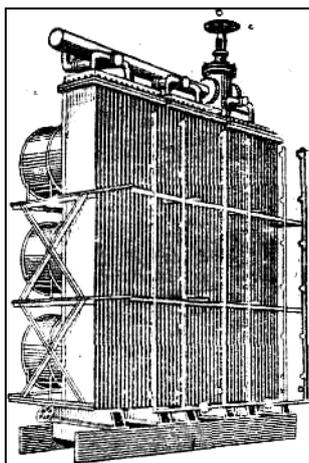


Рис. Т-28. Аппарат воздушного охлаждения с вертикальным расположением секций теплообменных труб.

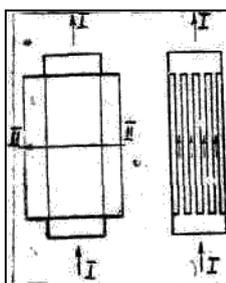


Рис. Т-29. Пластинчатый (перекрестно-точный) теплообменник для газов I и II.

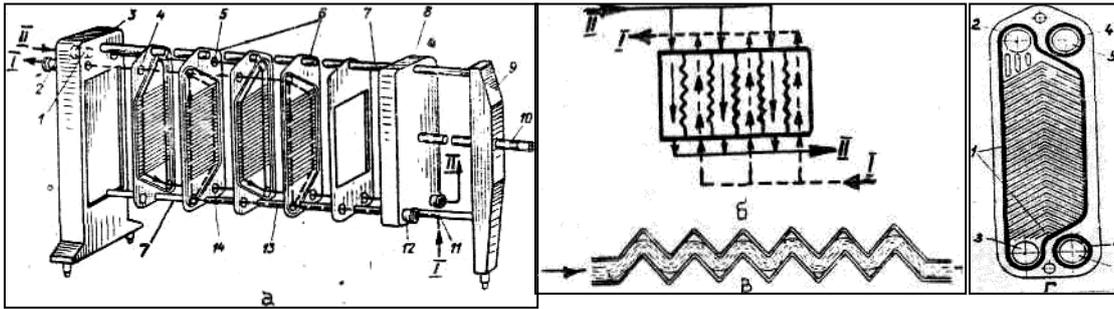


Рис. Т-30. Пластинчатый теплообменник "фильтрпрессного" типа и его элементы.

а - монтажная схема однопоточного аппарата.

1 и 11. Вход и выход теплоносителя П. 2 и 12. Выход и вход теплоносителя I. 3. Неподвижная головная плита. 4 и 13. Каналы, для движения теплоносителя I, путь которого показан пунктиром. 5 и 14. Каналы для движения теплоносителя I, путь которого показан сплошными линиями. 6. Четные пластины, считая слева на право (остальные пластины – нечетные), гофрированные для повышения устойчивости прогибу, обтекаемые теплоносителем I справа и теплоносителями П слева. 7. Направляющие стержни. 8. Подвижная головная плита. 9. Неподвижная стойка. 10. Стяжное винтовое устройство;

б - схема движения теплоносителей I и П в однопоточном/одноходовом/теплообменнике; в - характер потока жидкости в пространстве между двумя соседними гофрированными пластинами;

г - устройство одного из типов пластин:

1. Большая прокладка, ограничивающая пространство между пластинами, по которому движется теплоноситель I /снизу вверх/. 2 и 3. Отверстия для прохода этого теплоносителя. 4. Две малые кольцевые прокладки, уплотняющие отверстия 5 и 6, через которые проходит теплоноситель П.

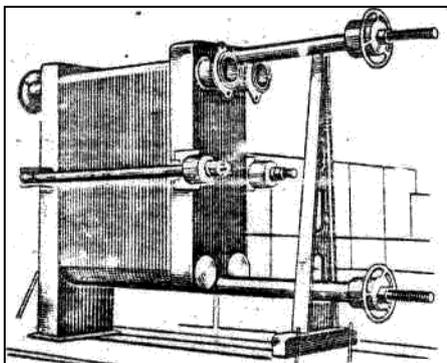


Рис. Т-31. Пластинчатый теплообменник типа "фильтрпресс" в сборке.

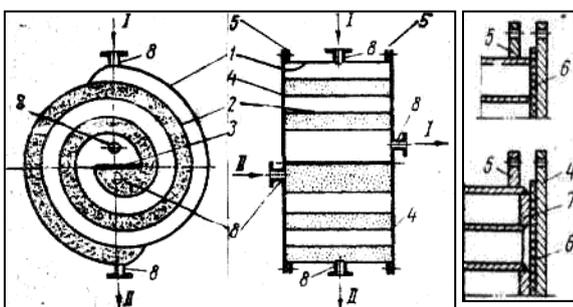


Рис. Т-32. Спиральный теплообменник.

1 и 2. Длинные металлические листы, свернутые в спирали и образующие узкие каналы шириной 8-12 мм для прохода теплоносителей I (светлый канал) и II (канал, покрытый точками). 3. Пластина-

перегородка, к которой приварены эти листы. 4.Крышки. 5.Фланцы.6.Прокладка. 7.Дистанционная полоса. 8.Штуцера для входа и выхода теплоносителей.

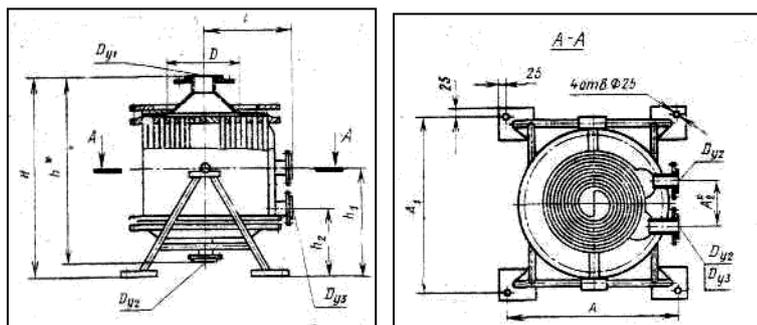


Рис. Т-33. Один из типов вертикальных спиральных теплообменников по ГОСТ 12067-72.

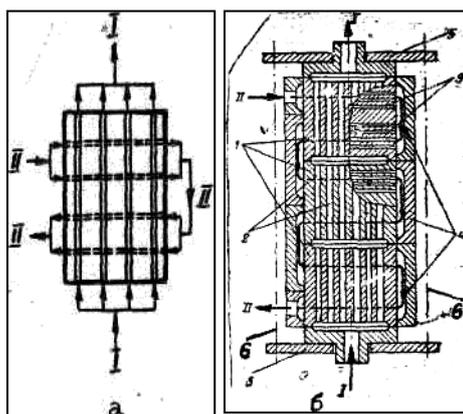


Рис. Т-34. Блочный теплообменник из графита для жесткокоррозионных сред: схема движения потоков в блоке (а) и разрез аппарата (б).

1.Графитовые блоки. 2.Вертикальные круглые каналы для теплоносителя I, движущегося снизу вверх. 3.Горизонтальные круглые каналы для теплоносителя II. 4.Боковые переточные камеры. 5.Торцевые крышки. 6.Стержни-стяжки.

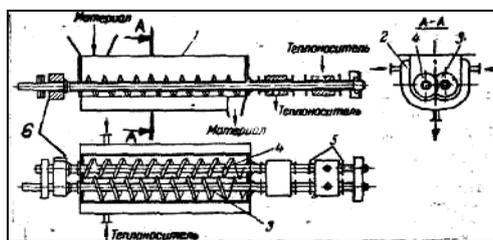


Рис. Т-35. Шнековый теплообменник для высоковязких жидкостей и сыпучих материалов, обладающих низкой теплопроводностью. 1.Корпус. 2.Рубашка. 3 и 4.Шнеки, которые, вращаясь навстречу друг другу на пустотелых обогреваемых валах,

перемешивают и транспортируют материал. 5.Сальники. 6.Приводной механизм.

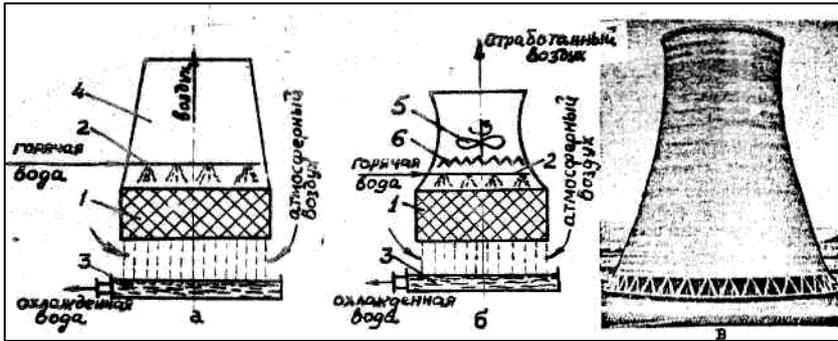


Рис. Т-36. Градирни с естественной (а) и с принудительной (б) тягой;
в - фотография градирни с естественной тягой.

- 1.Слой насадки, по которой пленкой стекает охлаждаемая вода.
- 2.Распределитель горячей воды.
- 3.Поддон для сбора охлажденной воды.
- 4.Полая высокая часть градирни для обеспечения естественной тяги.
- 5.Крыльчатка осевого вентилятора для принудительного движения воздуха.
- 6.Брызгоотбойник.

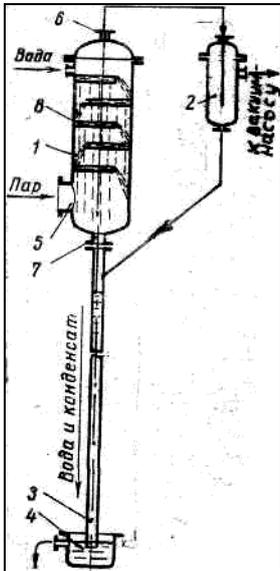


Рис. Т—37. Противоточный барометрический конденсатор смешения, служащий для создания вакуума в аппаратах с паровой средой.

- 1.Цилиндрический корпус конденсатора.
- 2.Ловушка для освобождения отсасываемых неконденсируемых газов от брызг.
- 3.Барометрическая труба, обеспечивающая удаление воды самотеком из пространства конденсатора, находящегося под разрежением.
- 4.Емкость, образуемая вместе с трубой гидравлический затвор
- 5.Штуцер для ввода пара.
- 6.Патрубок для удаления неконденсирующихся газов.
- 7.Патрубок для вывода смеси воды и образовавшегося конденсата.
- 8.Перфорированные полки, обеспечивающие создание большой поверхности соприкосновения воды с паром.

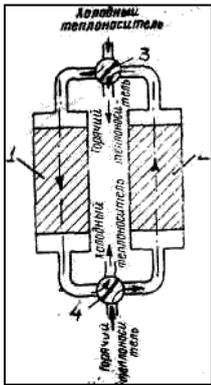


Рис. Т-38. Установка регенераторов с неподвижной насадкой, работающих в нестационарном режиме.

1 и 2.Регенеративные теплообменники с насадкой из кирпичей, металлических листов, шаров, алюминиевой гофрированной ленты, изображенной на рис.

Т-39, и др. 3 4.Клапаны, позволяющие переключать подачу холодного и горячего теплоносителей с одного регенератора на другой (при пропуски горячего теплоносителя тепло аккумулируется насадкой, а при пропуски холодного - отдается последнему).

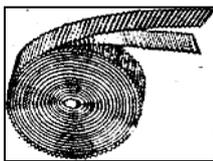


Рис. Т-39. Алюминиевая гофрированная лента, рулоны которой используются в ре генераторах, служащих для охлаждения газов до очень низких температур /до -200 С/ с вымораживанием двуокиси углерода и последующим выделением ее в "теплые" потоки при оттаивании.

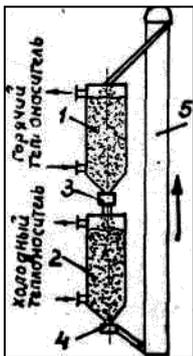


Рис. Т-40. Установка регенераторов с движущейся насадкой, работающих в стационарном режиме.

1 и 2.Регенераторы с насадкой из металлических шаров, непрерывно перемещающихся сверху вниз. 3 и 4.Затворы, через которые нагретая насадка непрерывно разгружается из верхнего регенератора в нижний, а охлажденная - из нижнего в элеватор 5, подающий ее снова в верхний регенератор.