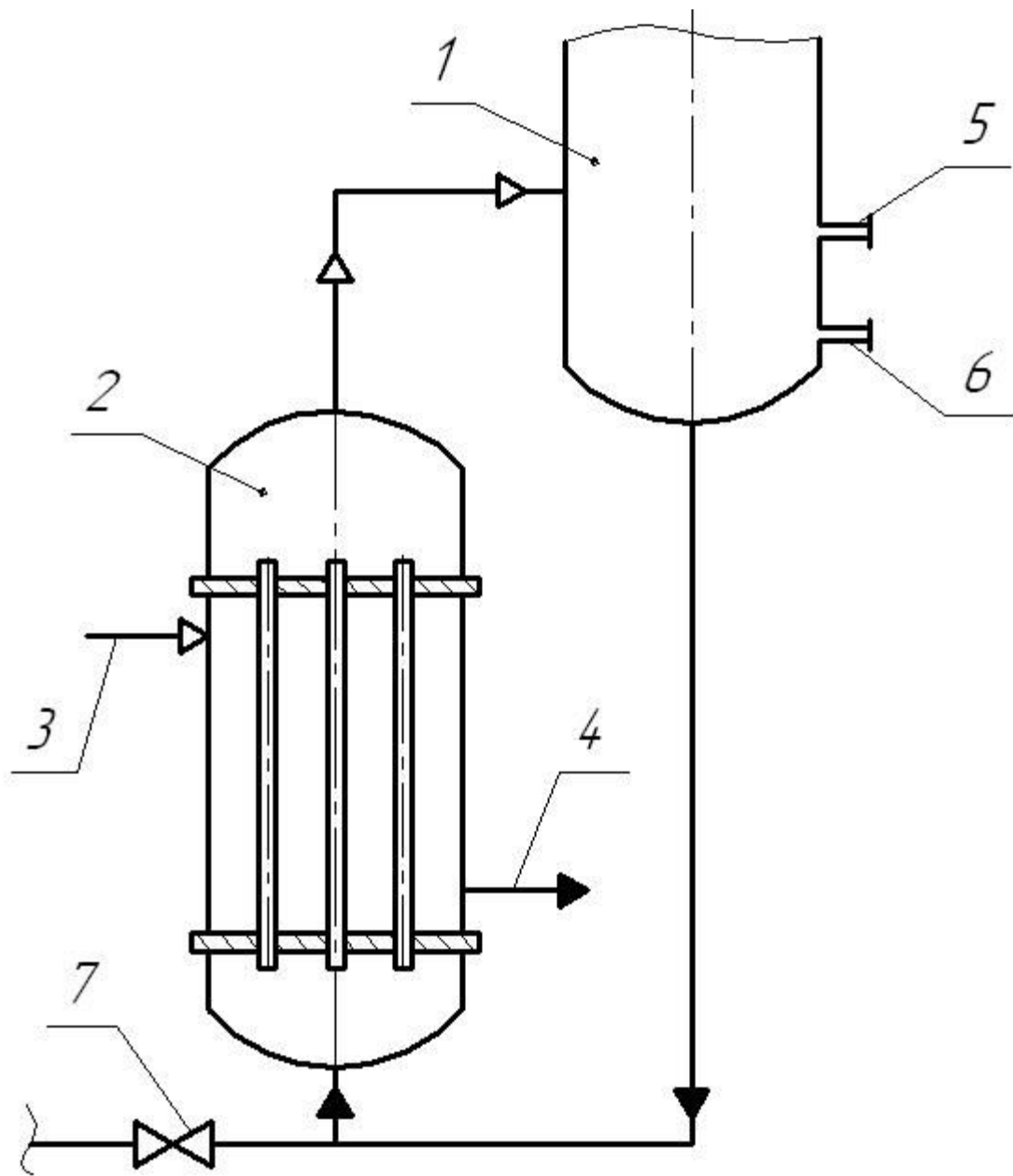


«Теплообменное оборудование»

Задача: снижение затрат
тепловой энергии на единицу
продукции

В России расход тепловой
энергии на единицу продукции
нефтехимпереработки на 30%
выше чем в развитых странах

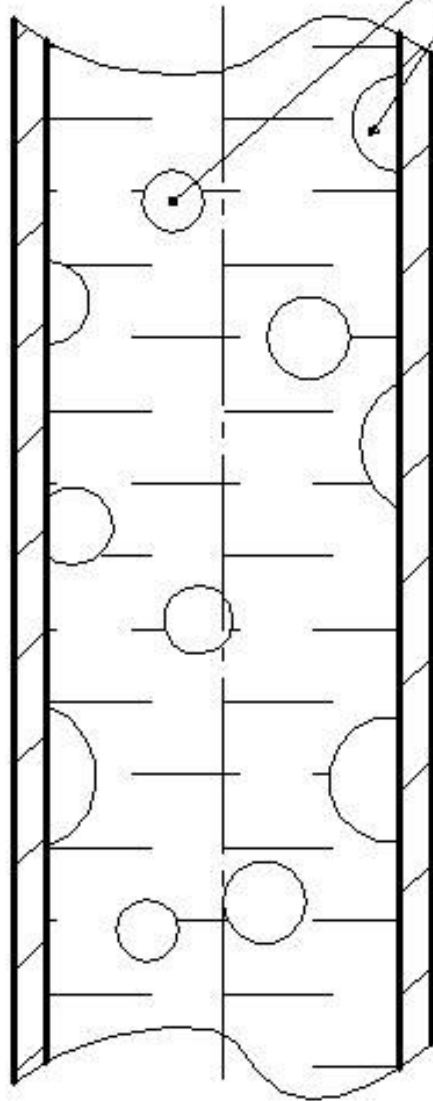




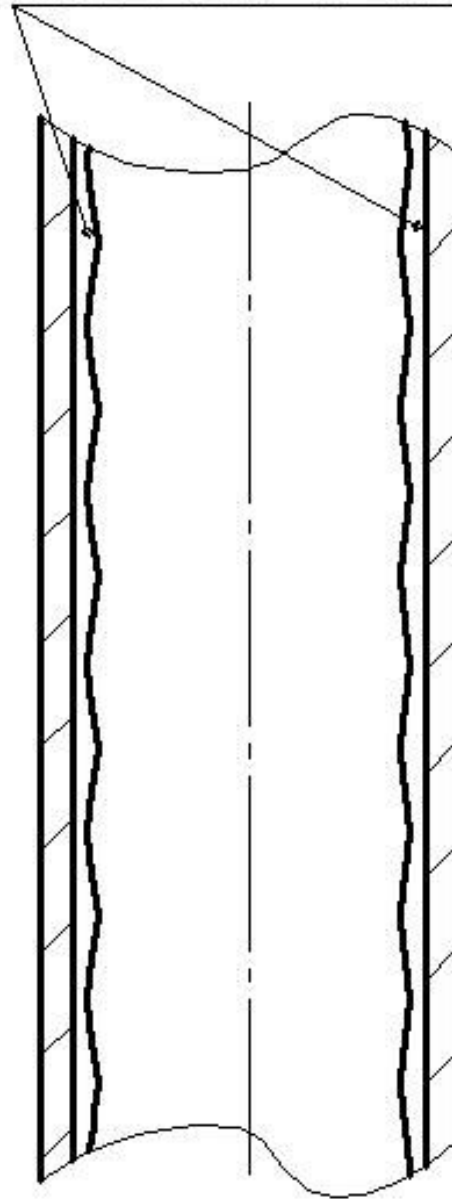
Недостатки кожухотрубчатых кипятильников с затопленными трубами

- **Низкий коэффициент теплопередачи**
- **Образование отложений смол и кокса на теплообменной поверхности**
- **Необходимость периодической чистки**

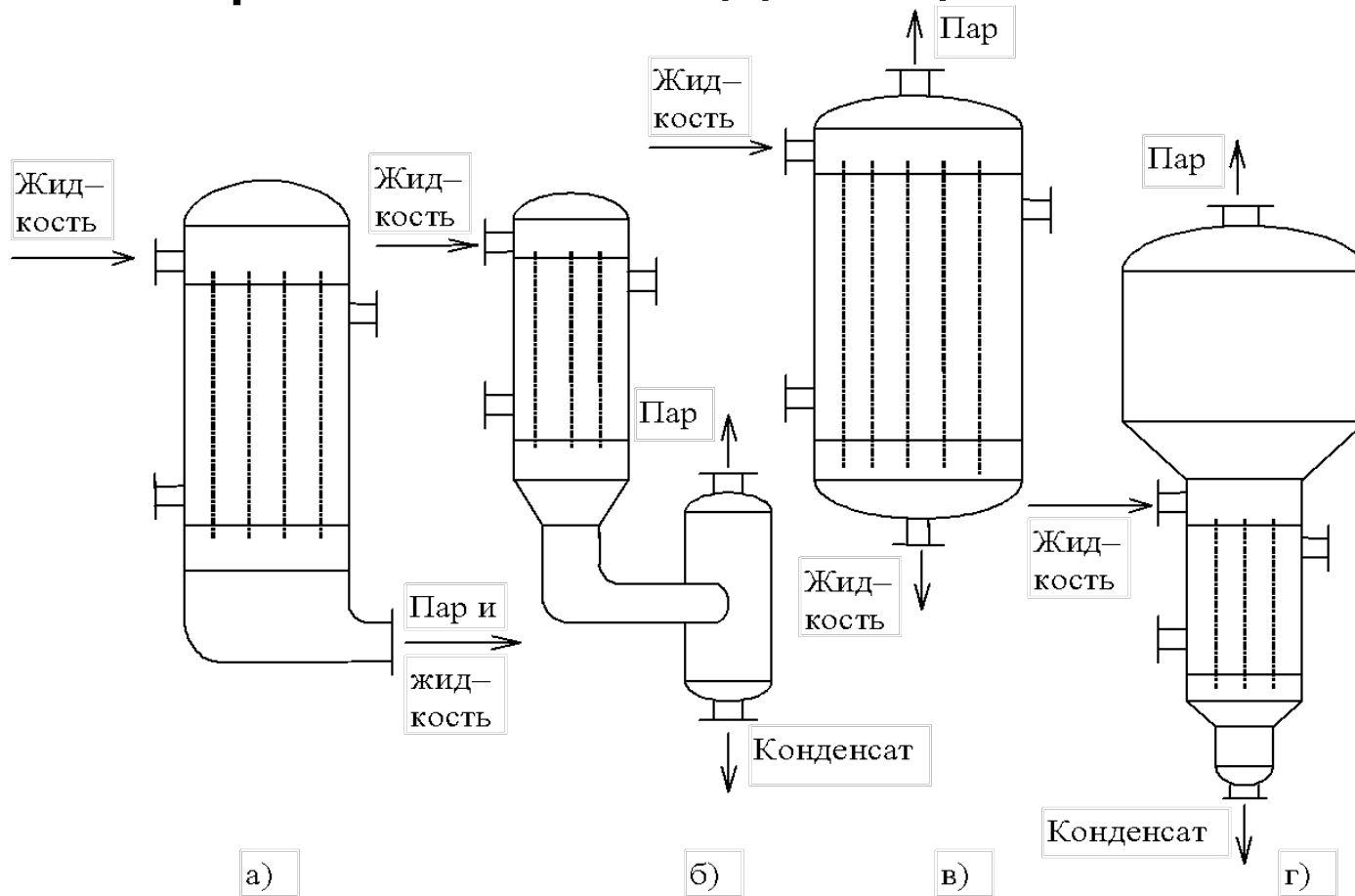
пузырьки пара



пленка жидкости

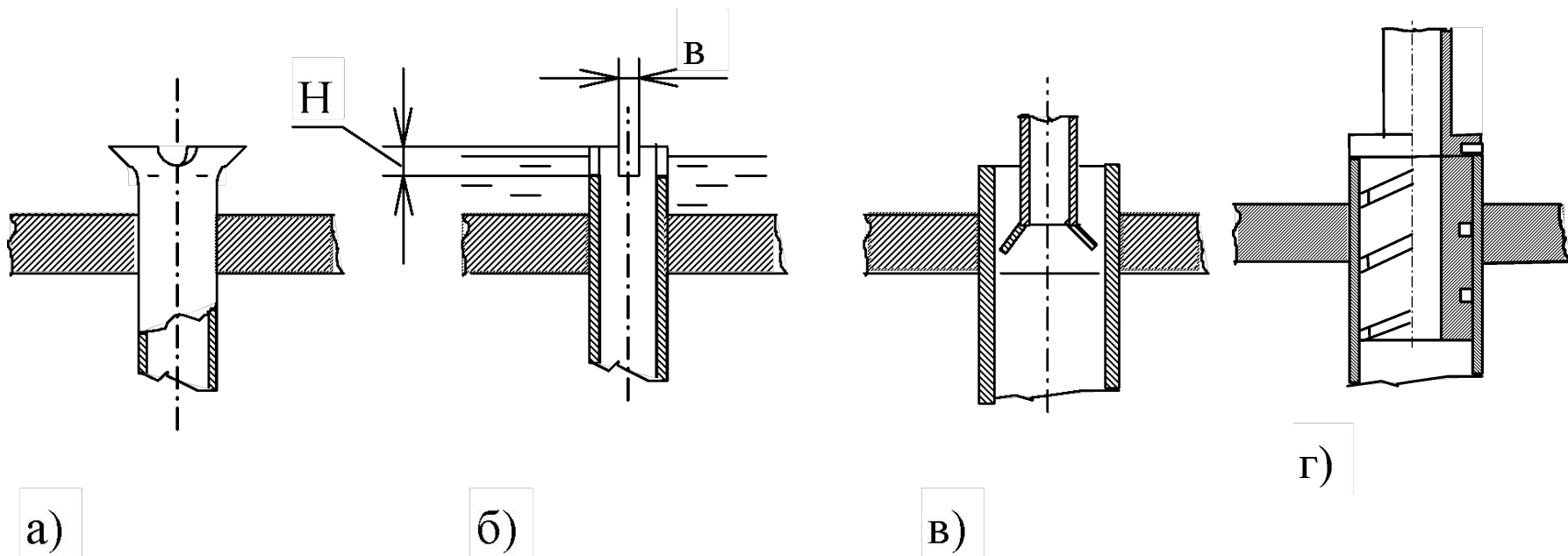


Основные схемы пленочных испарителей с падающей пленкой

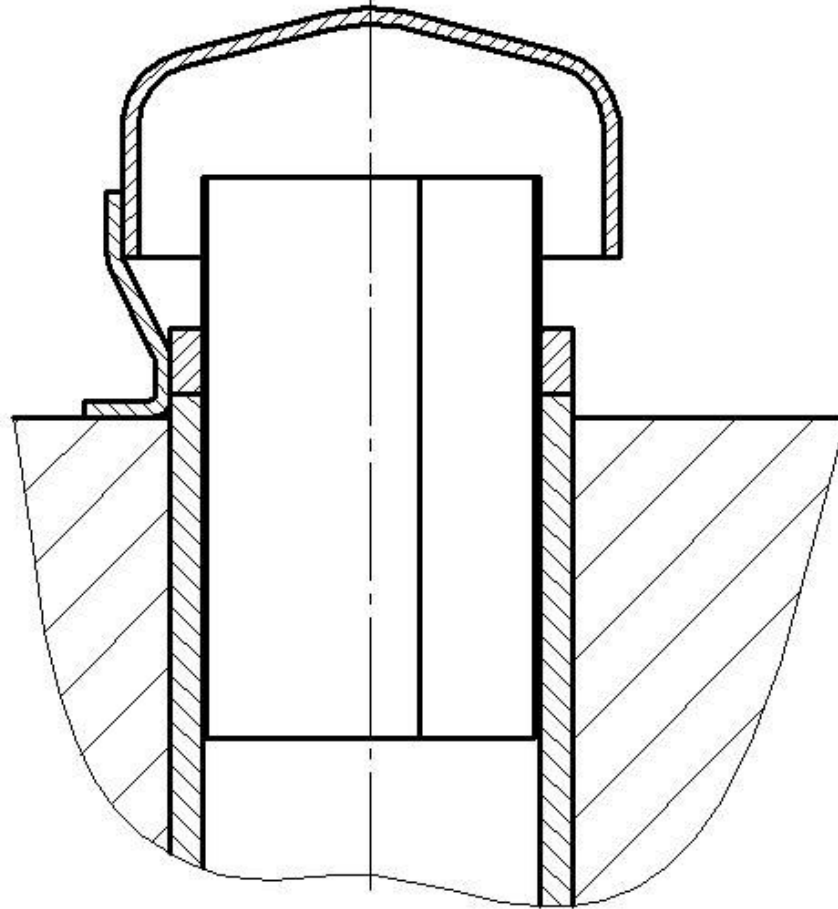


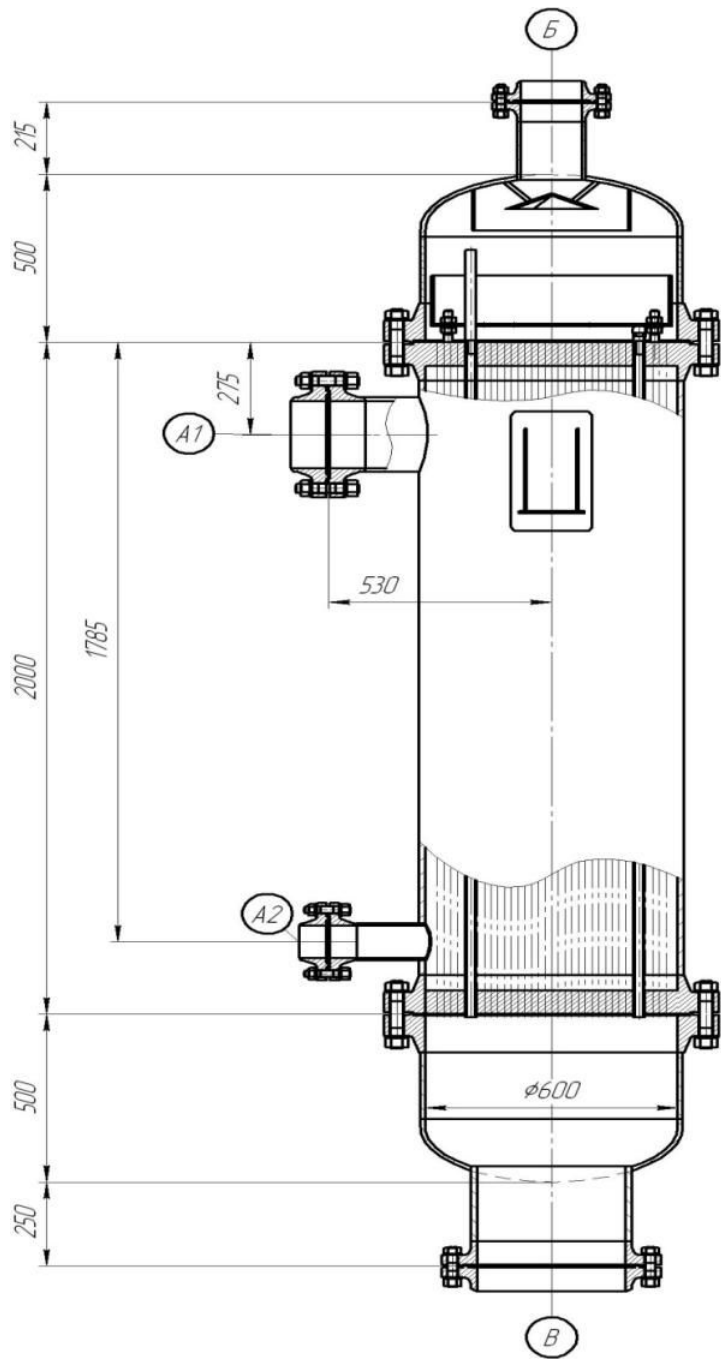
а, б - прямоточные; в, г - противоточные пленочные испарители

Распределительные устройства пленочных испарителей



Распределительное устройство нового типа

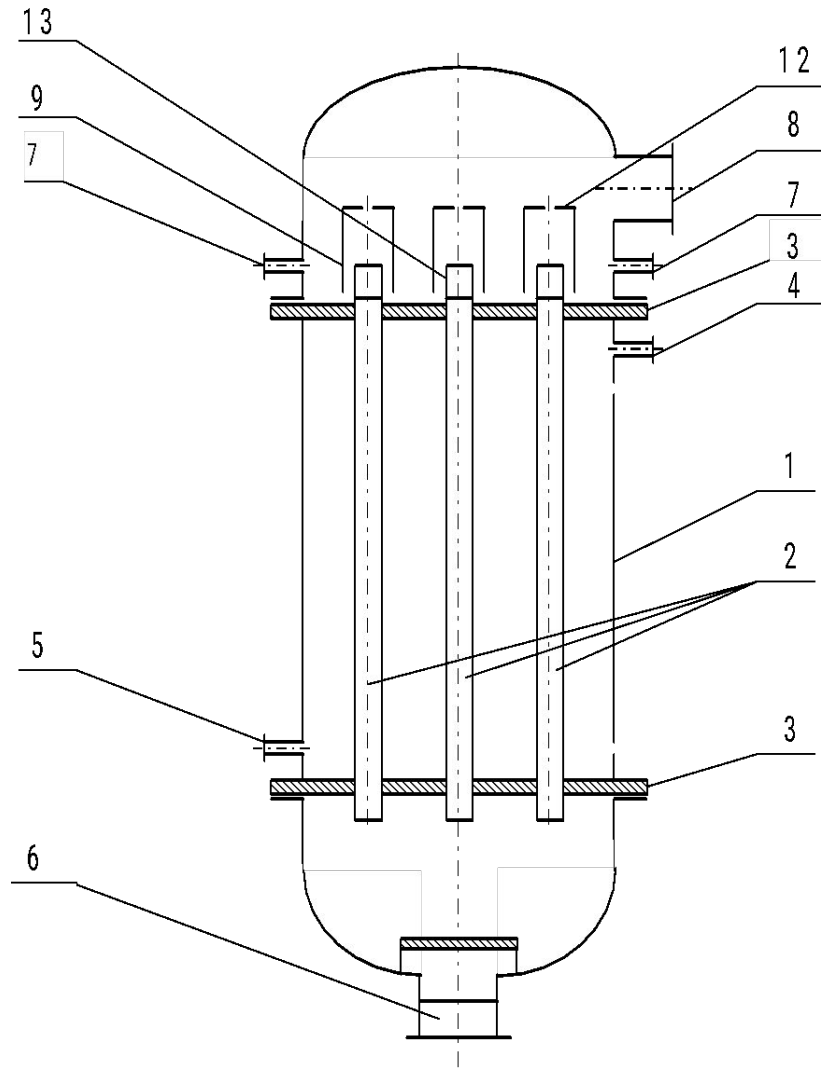




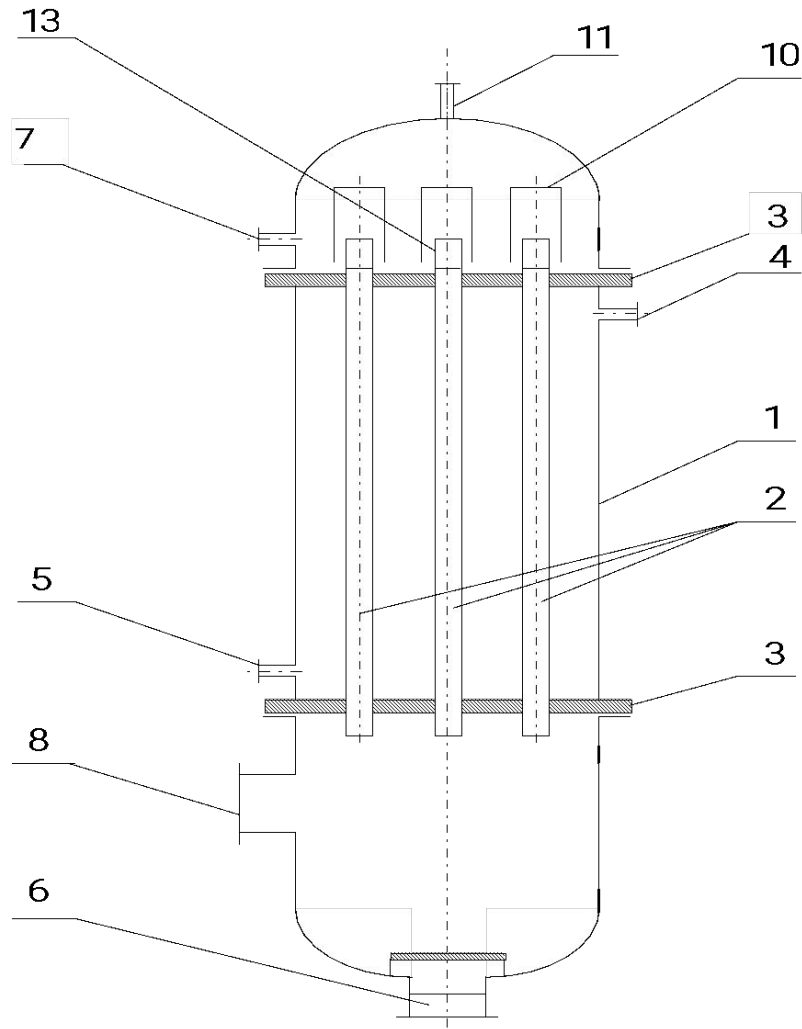
Пленочные испарители

- Преимущества:
- Высокие коэффициенты теплопередачи 2...4 кВт/м²К
- Отсутствие отложений на греющей поверхности со стороны испаряемой жидкости
- Нет гидростатического давления столба жидкости и следовательно ниже температура испарения
- Малое время пребывания при нагреве (меньше термическая деградация и смолообразование)
- Более полное использование энергетического потенциала теплоносителей (экономии пара).

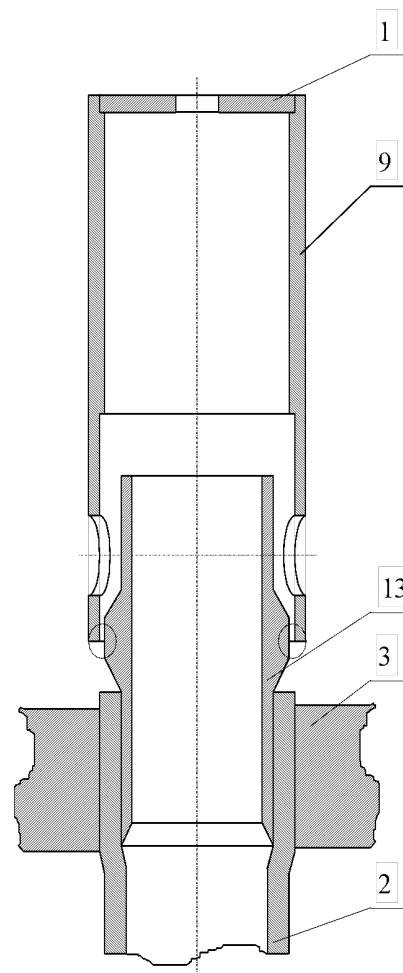
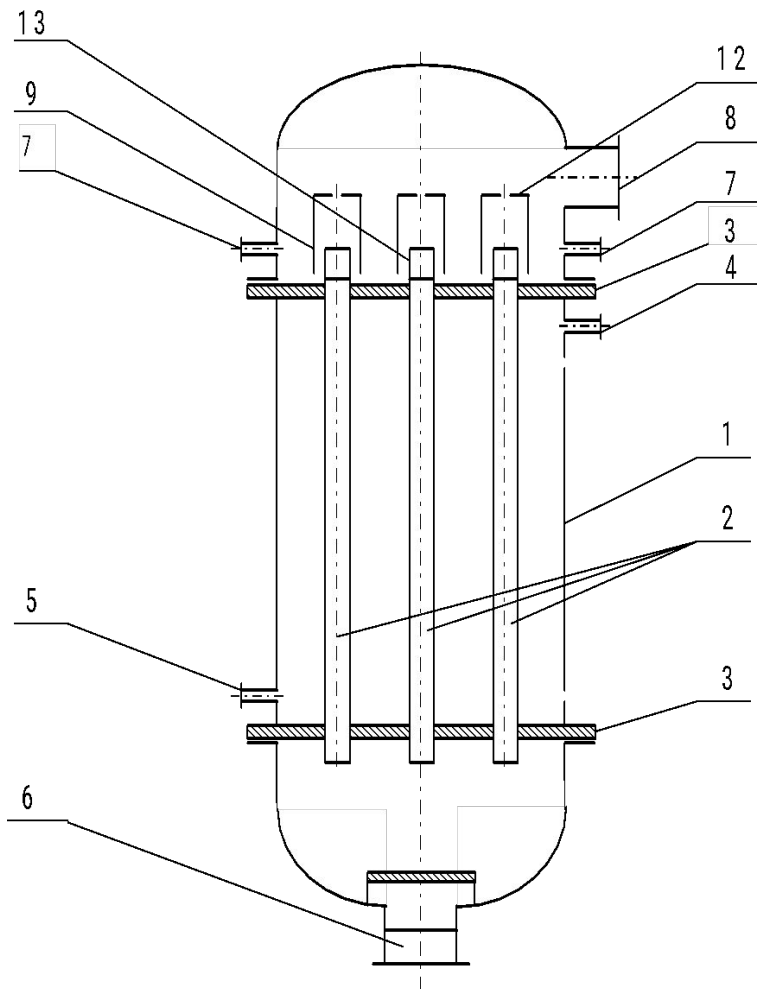
Прямоточный пленочный испаритель



Противоточный пленочный испаритель



Пленочные аппараты с распределением жидкости по трубам с отрицательной обратной связью по парообразованию



Прямоточно противоточный пленочный испаритель

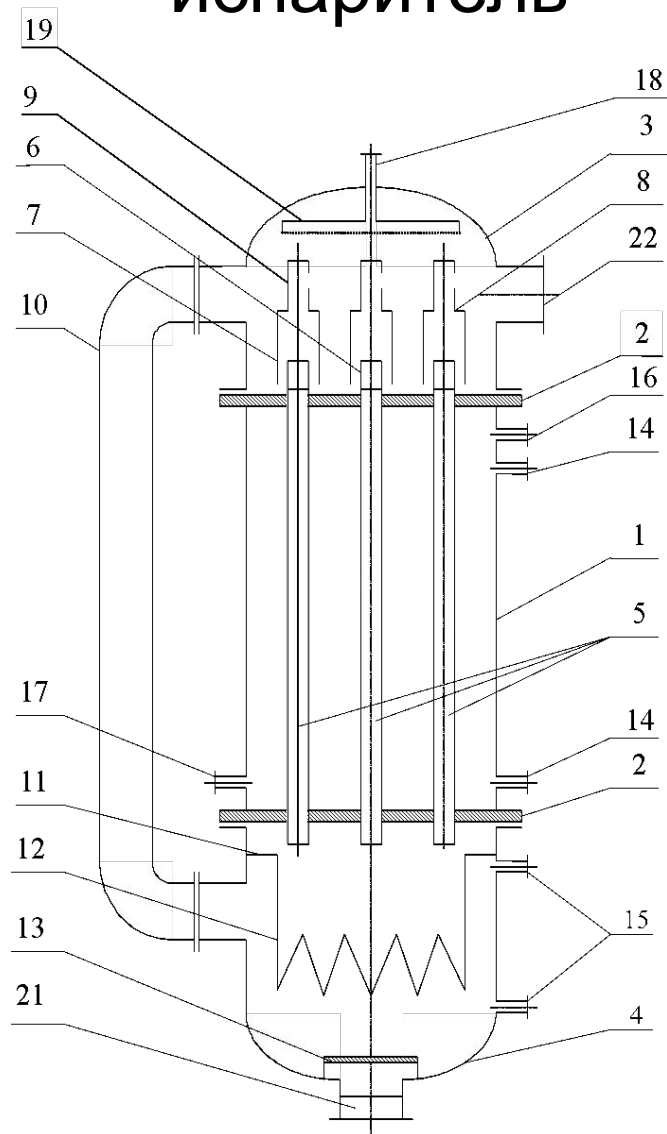
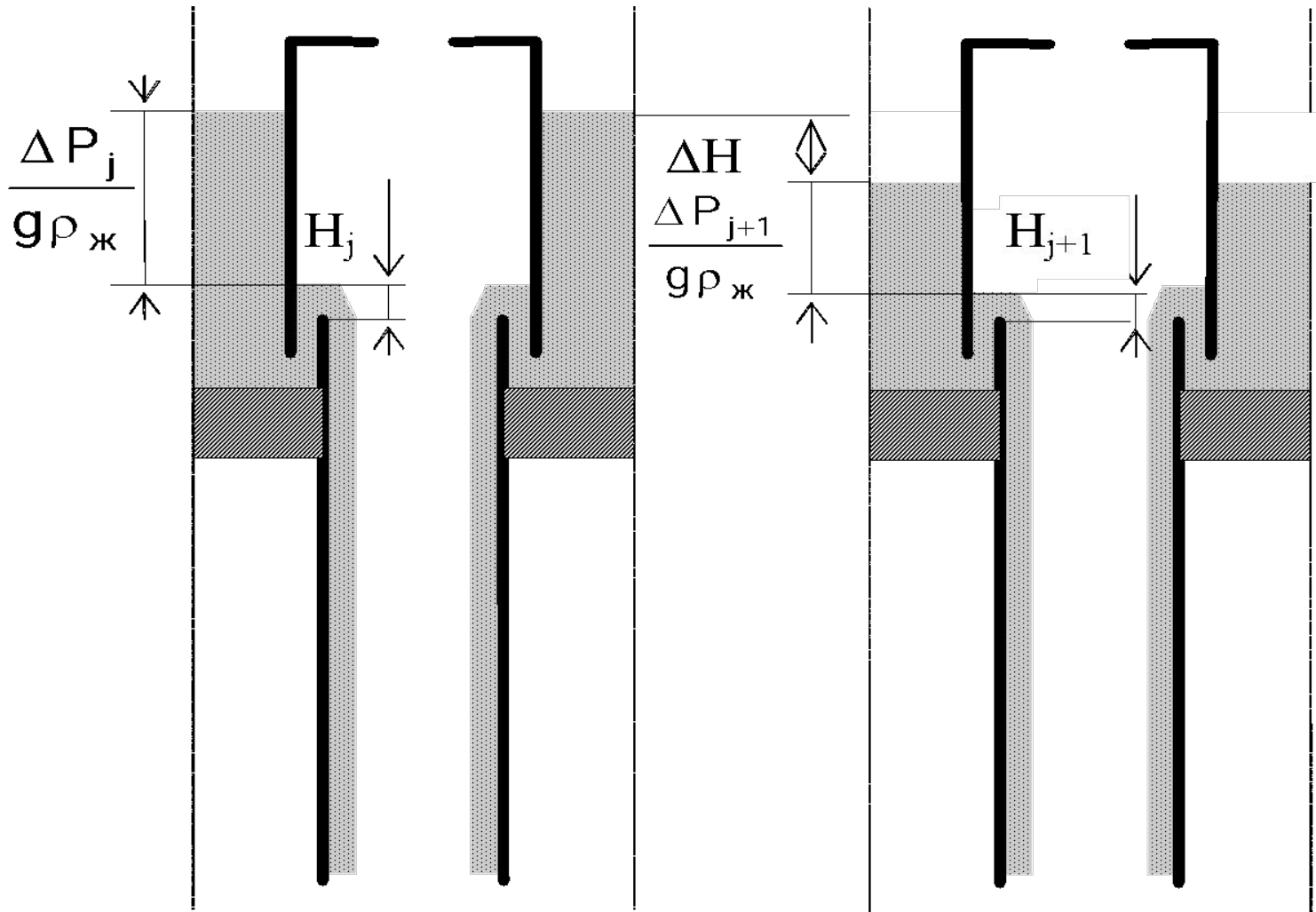


Схема работы распределительного устройства



Сопротивление диафрагмы j -й трубы противоточного испарителя можно выразить через среднее сопротивление диафрагмы $\Delta P_{\text{ср}}$ при среднем расходе паров через нее ($Q_{\text{ср}} e_{\text{ср}}$):

$$\Delta P_j = \Delta P_{\text{ср}} \frac{Q_j^2 e_j^2 \rho_{\text{п}j}}{Q_{\text{ср}}^2 e_{\text{ср}}^2 \rho_{\text{пс}}}$$

где $e_{\text{ср}}$, e_j - массовая доля отгона в средней по жидкостной нагрузке и j - й трубе.

В прямоточном испарителе расход пара меняется по длине теплообменных труб. В этих условиях сопротивление трубы можно найти как интегральное:

$$\Delta P_j = \frac{8d_B^2}{\rho_j r^2} \int_0^{l_1} \frac{\xi_j \rho_{пj} w_{отj}^2 dl}{d_B - 2\delta_j},$$

где l_1 - длина теплообменной трубы, м;

d_B - внутренний диаметр труб, м;

ξ - коэффициент сопротивления орошаемой трубы;

$w_{от}$ - относительная скорость пара, м/с;

r - теплота испарения жидкости, Дж/кг;

ρ_k - плотность жидкости, кг/м³;

δ - толщина стекающей пленки, м.

Разность уровней жидкости на трубной решетке около наиболее и наименее нагруженной теплообменной трубы:

$$\Delta H = \frac{\Delta P_{\max} - \Delta P_{\min}}{g\rho_{\text{ж}}} + H_{\max} - H_{\min}$$

$$H_j = H_{\text{cp}} \left(\frac{Q_j}{Q_{\text{cp}}} \right)^{0,446}$$

Тепловой процесс в пленочных испарителях с падающей пленкой

Локальные коэффициенты теплоотдачи от трубы к пленке жидкости α_1 рассчитываются по формуле Лабунцова . При $Re_{ж} \geq 500$:

$$\frac{\alpha_1}{\lambda_{ж}} \left(\frac{v_{ж}^2}{g} \right)^{1/3} = 0,023 (Re_{ж})^{0,25} Pr_{ж}^{0,5}$$

где $Pr_{ж} = C_{ж} \rho_{ж} v_{ж} / \lambda_{ж}$ - критерий Прандтля;

$Re_{ж} = \Gamma / \mu_{ж}$ - критерий Рейнольдса;

$\lambda_{ж}$ - теплопроводность конденсата теплоносителя, Вт/(м · К);

$\rho_{ж}$ - плотность конденсата теплоносителя, кг/м³;

$v_{ж}$ - кинематическая вязкость теплоносителя, м²/с;

$C_{ж}$ – теплоемкость жидкости, Дж/кг.

При $60 < Re_{\text{ж}} < 500$:

$$\frac{\alpha_1}{\lambda_{\text{ж}}} \left(\frac{v_{\text{ж}}^2}{g} \right)^{1/3} = \frac{Pr_{\text{ж}} Re_{\text{ж}}^{0,2}}{5Pr + 2,9Pr^{1/3} Re_{\text{ж}}^{0,2}}$$

Теплоноситель конденсирующийся насыщенный водяной пар

$$\alpha_2 = 1,21 \lambda_{\text{к}} \sqrt[3]{\frac{\rho_{\text{к}}^2 g r_{\text{к}}}{\mu_{\text{к}} l_1 q_{\text{т}}}}$$

где $\lambda_{\text{к}}$ - теплопроводность конденсата теплоносителя,
Вт/(м·К);

$\rho_{\text{к}}$ - плотность конденсата теплоносителя, кг/м³;

$r_{\text{к}}$ - теплота конденсации теплоносителя, Дж/кг;

$\mu_{\text{к}}$ - динамическая вязкость теплоносителя, Па·с;

$q_{\text{т}}$ - удельная тепловая нагрузка теплообменной трубы, Вт/м².

Коэффициент теплопередачи

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta_{CT}}{\lambda_{CT}} + r_T}$$

Недостатки пленочных испарителей

- Необходим насос для циркуляции жидкости через испаритель
- Требуются распределительные устройства на каждую теплообменную трубу

МНОГОПОТОЧНЫЕ ПЛЕНОЧНЫХ ИСПАРИТЕЛЕЙ

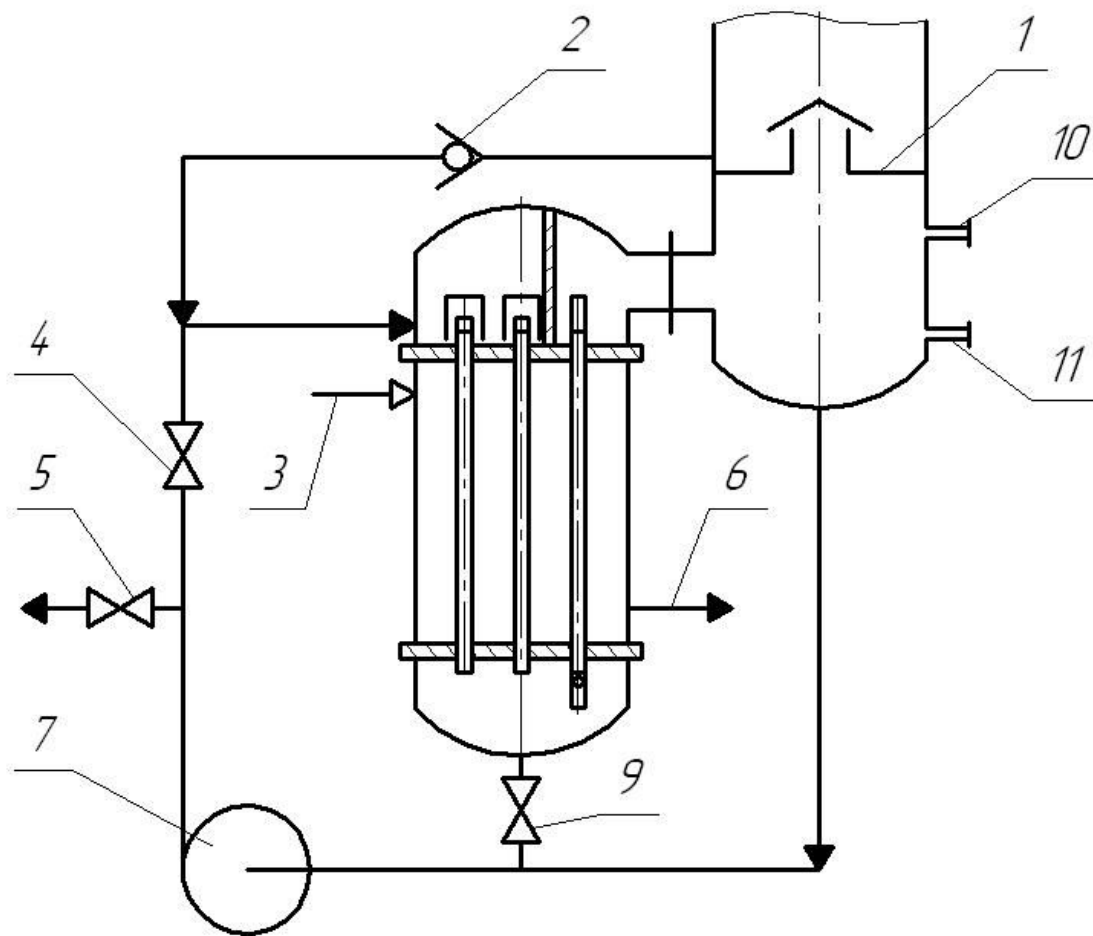


Схема включения трехпоточных пленочных испарителей

