

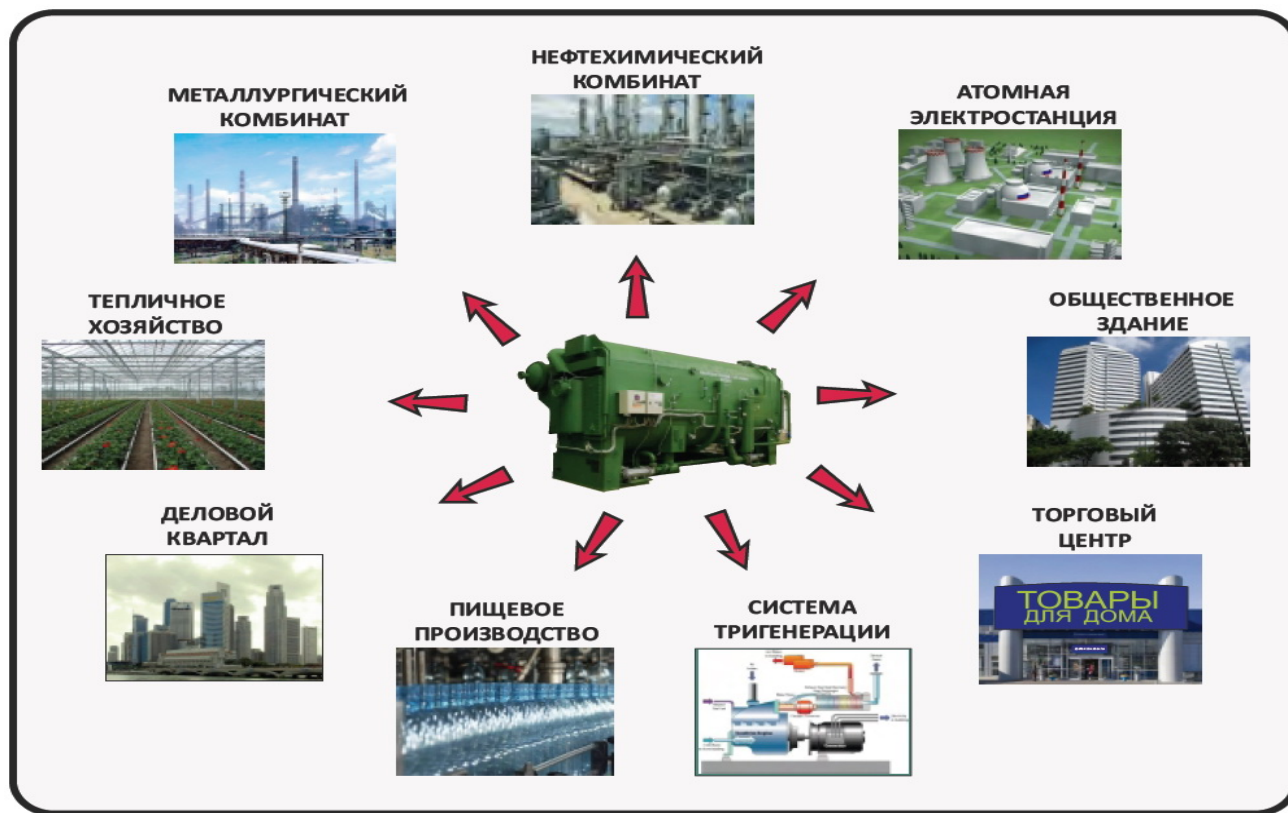
**АБСОРБЦИОННЫЕ БРОМИСТО-ЛИТИЕВЫЕ
ТЕРМОТРАНСФОРМАТОРЫ
(АБХМ и АБТН)**

Комплексное решение проблемы энергосбережения:

- Термодинамика
 - Теплофизические процессы
 - Повышение энергетической эффективности
 - Материаловедение
 - Конструктивно-схемные решения
 - Применение для целей энерго-ресурсосбережения
-
- Теплоснабжение (отопление, ГВС, технологии) - АБТН
 - Охлаждение на базе сбросных источников - АБХМ (кондиционирование, технологии)
 - Тригенерация (АБХМ)
 - Возможность использования абсорбционных ТНУ в составе низкотемпературных систем централизованного теплоснабжения от ТЭЦ (АБХМ , АБТН)

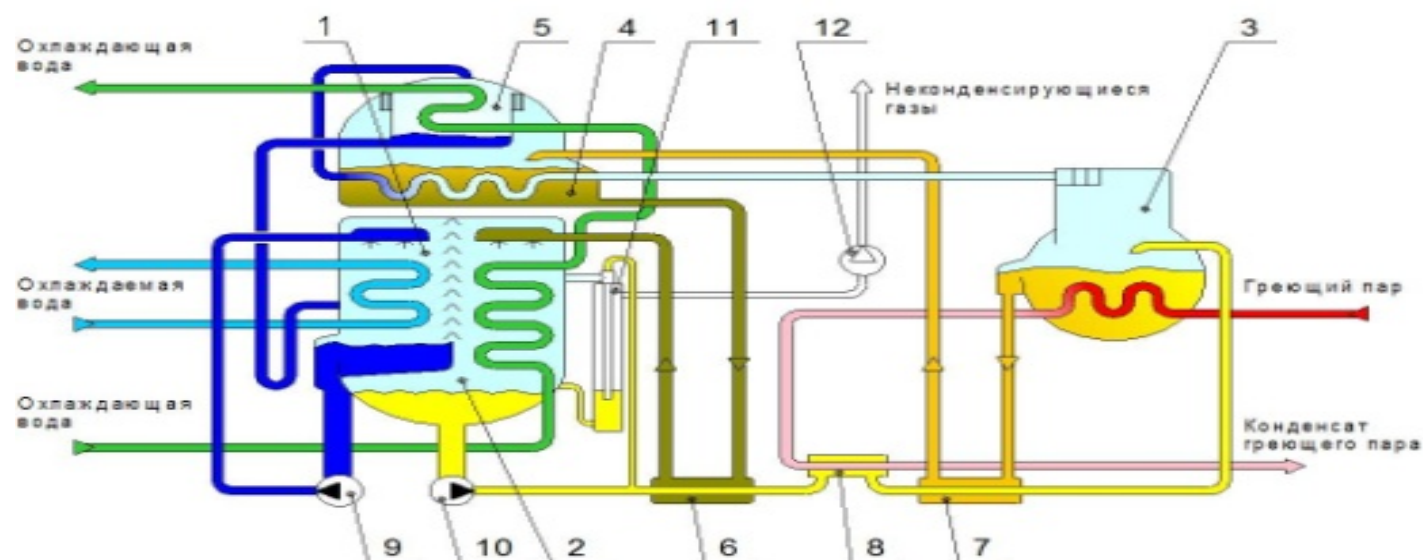
Основные свойства абсорбционных бромисто-литиевых холодильных машин обеспечивают широкие возможности их использования в промышленности и энергетике в качестве энергосберегающих и экологически чистых решений.

Многократный эффект от применения АБХМ достигается при наличии у потребителей сбросного тепла. В этом случае абсорбционные холодильные машины используются одновременно как средство утилизации вторичных энергоресурсов.



Отрасль	Область эффективного применения АБХМ	Использование в качестве греющего источника (источника энергии) сбросной теплоты
Нефтехимия	Охлаждение группы сред в процессах каталитического крекинга	+
Нефтехимия	Технология производства азотных удобрений	+
Нефтехимия	Технология производства дифенилолпропана	-
Нефтехимия	Технология производства ПВД	+
Нефтехимия	Технология производства сэвилена	+
Химия	Технология производства капролактама	+
Химия	Технологии производства щелочей и хлора	+
Химия	Технология производства уксусной кислоты	+
Химия	Технология производства перекиси водорода	-
Текстильная промышленность	Технологии производства синтетических волокон	+
Энергетика	Тригенерация	+
Энергетика	Охлаждение воздуха для газовых турбин	+
Чёрная металлургия	Охлаждение и осушение воздуха для доменной печи	+
Цветная металлургия	Охлаждение электролита в производстве хрома	+
Коксохимия	Технология очистки коксового газа	+
Производство газированных напитков и минеральных вод	Технология насыщения продуктов углекислым газом	-
Пивоварение	Охлаждение сусла	+
Целлюлозная промышленность	Технология отбеливания целлюлозы	+

АБСОРБЦИОННЫЕ БРОМИСТОЛИТИЕВЫЕ ХОЛОДИЛЬНЫЕ МАШИНЫ С ПАРОВЫМ ОБОГРЕВОМ С ДВУХСТУПЕНЧАТОЙ РЕГЕНЕРАЦИЕЙ РАСТВОРА (АБХМ2-П)



- 1 - испаритель
- 2 - абсорбер
- 3 - генератор высокого давления
- 4 - генератор низкого давления
- 5 - конденсатор
- 6 - теплообменник
низкотемпературный

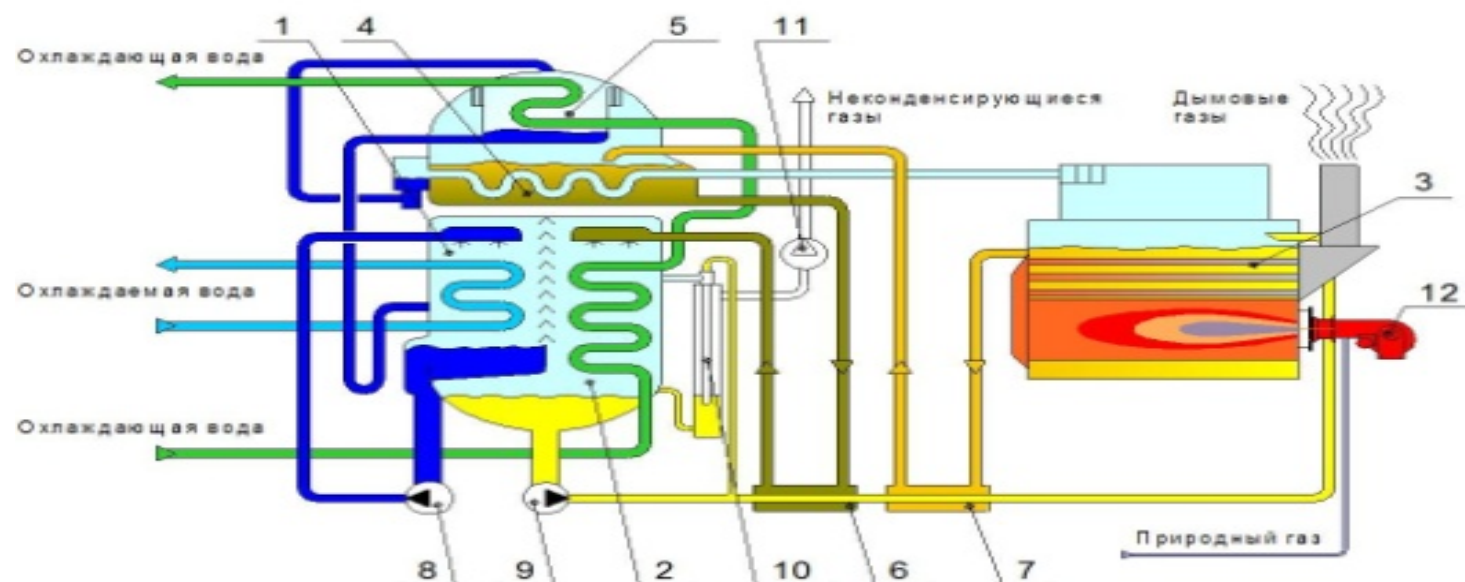
- 7 - теплообменник
высокотемпературный
- 8 - подогреватель
- 9 - насос хладагента
- 10 - насос растворный
- 11 - газоотделитель
- 12 - насос вакуумный

- хладагент (вода)
- хладагент (пар)
- крепкий раствор LiBr
- слабый раствор LiBr
- раствор промежуточной концентрации

- охлаждаемая вода
- охлаждающая вода
- греющий пар
- неконденсирующиеся газы

Двухступенчатые холодильные машины с паровым обогревом.
Схема принципиальная.

АБСОРБЦИОННЫЕ БРОМИСТОЛИТИЕВЫЕ ХОЛОДИЛЬНЫЕ МАШИНЫ С ОГНЕВЫМ ОБОГРЕВОМ (АБХМ-Т)



- 1 - испаритель
- 2 - абсорбер
- 3 - генератор высокого давления
- 4 - генератор низкого давления
- 5 - конденсатор
- 6 - теплообменник низкотемпературный

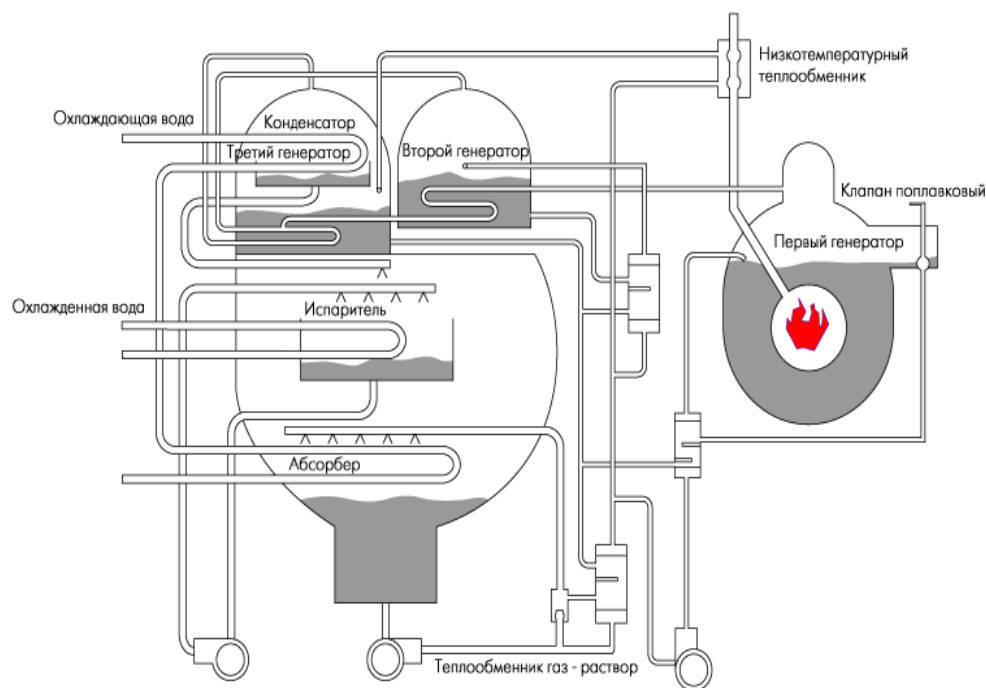
- 7 - теплообменник высокотемпературный
- 8 - насос хладагента
- 9 - насос растворный
- 10 - газоотделитель
- 11 - насос вакуумный
- 12 - горелка газовая

- хладагент (вода)
- хладагент (пар)
- крепкий раствор LiBr
- слабый раствор LiBr
- раствор промежуточной концентрации

- охлаждаемая вода
- охлаждающая вода
- природный газ
- неконденсирующиеся газы

Двухступенчатые холодильные машины с огневим обогревом.
Схема принципиальная.

Принципиальная схема АТТ с трехступенчатым генератором и огневым обогревом.



Применение трехступенчатой регенерации пара повышает экономии топлива в среднем на 30% по сравнению с двухступенчатой регенерацией ($\mu=2,2$) что является лучшим показателем термодинамической эффективности для современных технологий производства тепловой энергии.

Относительная экономия исходного топлива по сравнению с котельными:

$$\Delta G = G_K \left(1 - \frac{\eta_K}{\mu \cdot \eta_{ГЕН}}\right) = G_K \left\{1 - [(0,9 - 0,4) / (1,7 - 2,2) \cdot 0,85]\right\} = (0,37 - 0,79)G_K$$

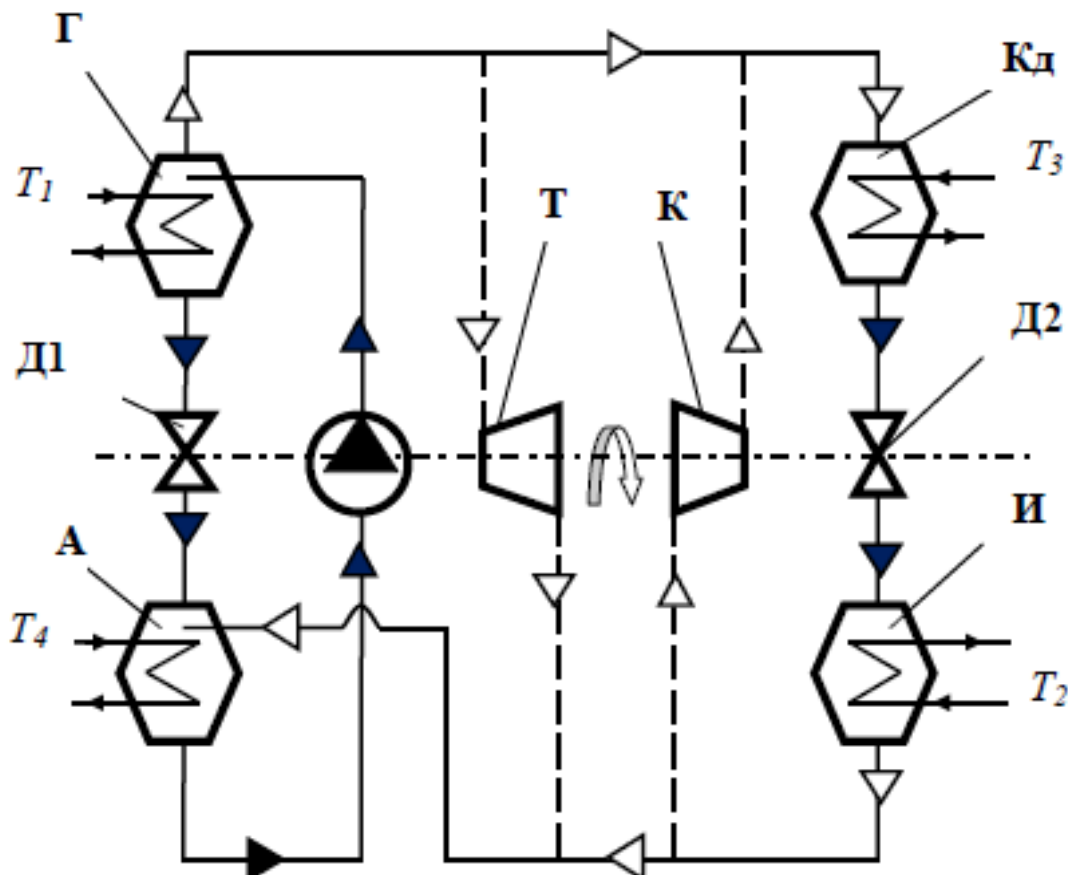
G_K - расход топлива в топливной котельной, т у.т.

$\eta_{ГЕН}$ - КПД генератора абсорбционного термотрансформатора

μ - коэффициент термотрансформации

η_K - КПД топливного котла.

Термодинамический анализ абсорбционных термотрансформаторов



Идеализированная схема абсорбционного преобразователя теплоты:

Г – генератор; А – абсорбер;
И – испаритель; Кд- конденсатор;
Д1 и Д2 – детандеры;
Т - турбина; К – конденсатор.

▶ - жидкостная линия;
▷ - паровая линия.

Показатели энергоэффективности идеальных совмещенных циклов абсорбционного преобразователя теплоты будут во всех случаях увеличиваться при увеличении температуры подвода тепла в генераторе **T1** и уменьшении температуры отвода тепла в абсорбере **T4**

АБХМ

$$T_3 = T_{OC} > T_2$$

$$\zeta_{ИД}^{XM} = \left(1 - \frac{T_4}{T_1}\right) \cdot \frac{T_2}{T_{OC} - T_2}$$

АБТН

$$T_2 = T_{OC} < T_3$$

$$\mu_{ИД}^{TH} = 1 + \left(1 - \frac{T_4}{T_1}\right) \cdot \frac{T_3}{(T_3 - T_{OC})}$$

Эксергетическая модель эффективности теплоисточников

АБТН с газовой топкой, работающий в качестве «квартирной газовой котельной», на тепле низкотемпературной централизованной сети ТЭЦ.

Топливный котел (его аналог - АБТН без низкопотенциального источника тепла)

$$\eta_e^{АБТН} = \frac{e_{вых}}{e_{вх}} = \frac{q_A \cdot \tau_{wA}^q + q_K \cdot \tau_{wK}^q}{q_{\Gamma} / \eta_{\Gamma} + q_{II} \cdot \tau_s^q}$$

$$\tau_w^q = 1 - \frac{T_{OC}}{\tilde{T}_{wA}}, \tau_w^q = 1 - \frac{T_{OC}}{\tilde{T}_{wK}}, \tau_w^q = 1 - \frac{T_{OC}}{\tilde{T}_s}$$

- эксергетические температурные функции теплоносителей систем теплоснабжения в процессе теплообмена в абсорбере, конденсаторе, низкопотенциального источника тепла; T_{OC} - температура окружающей среды.

$$\eta_e^{Котел} = \frac{e_{вых}}{e_{вх}} = \frac{q_K \cdot \tau_{K-A}^q}{q_{\Gamma} / \eta_{\Gamma}}$$

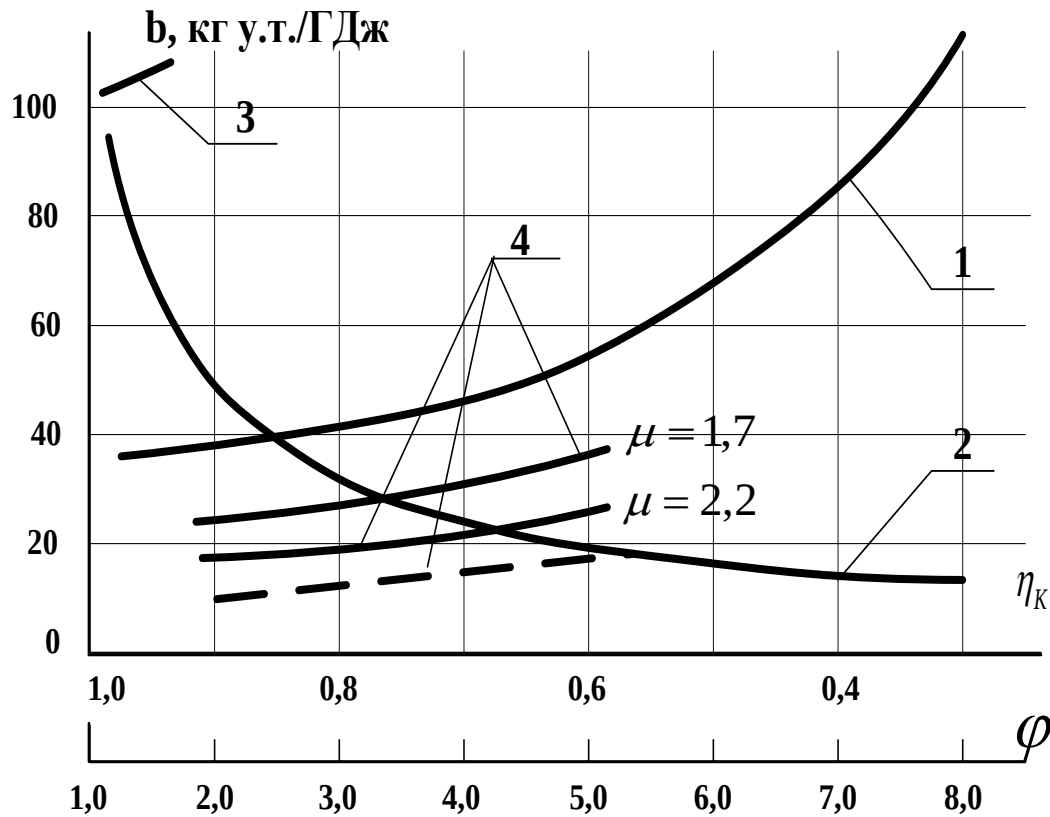
Потери эксергии:

$$\Delta E_K = \Delta E_{K1} + \Delta E_{K2} + \Delta E_{K3} =$$

$$(1 - \eta_K) e_{y.T.} + \frac{T_{O.C.}}{\tilde{T}_{B_1, B_2}} \eta_K e_{y.T.} = e_{y.T.} (1 - \tau_e \eta_K)$$

$$\mu = \eta_e^{АБТН} / \eta_e^{Котел} = 1,7$$

Относительная эффективность различных теплоисточников



Удельные затраты условного топлива на выработку тепловой энергии для различных теплоисточников:

1 - котлы и домовые печи, использующие органические виды топлива (уголь, мазут, дрова, природный газ и т.п.); 2 – парокompрессионные тепловые насосы с электроприводом; 3 – электродкотлы; 4 – АБТН одноступенчатые, двухступенчатые, ---- - АБТН с многоступенчатой регенерацией.

Исследование неизотермической десорбции растворов LiBr

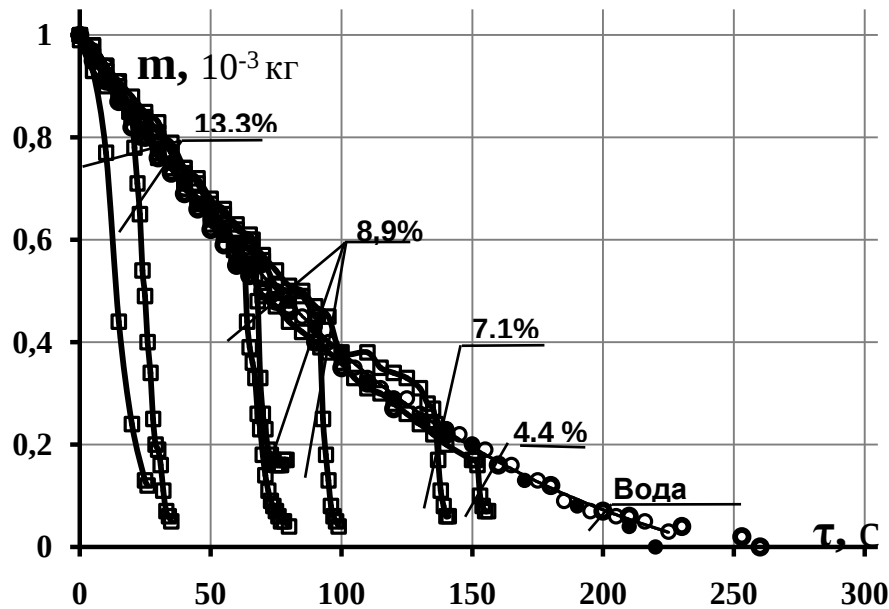


Рис. Зависимость относительной скорости испарения водных растворов LiBr от первоначальной концентрации соли (начальная масса $m_0 = 10^{-3} \text{ кг}$, температура поверхности нагрева $t_{\text{ст.}} = 400^\circ\text{C}$)

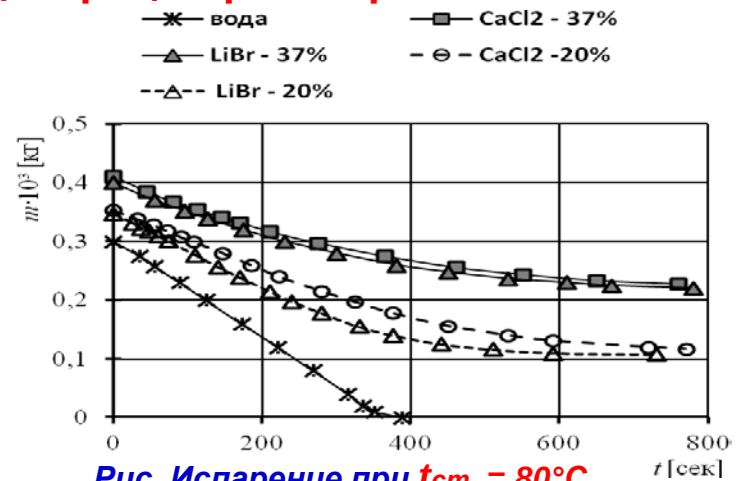


Рис. Испарение при $t_{\text{ст.}} = 80^\circ\text{C}$

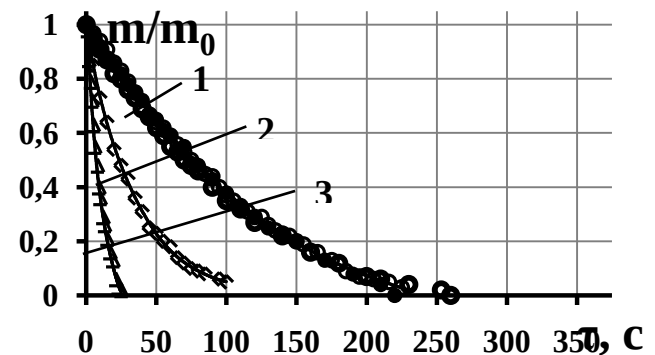
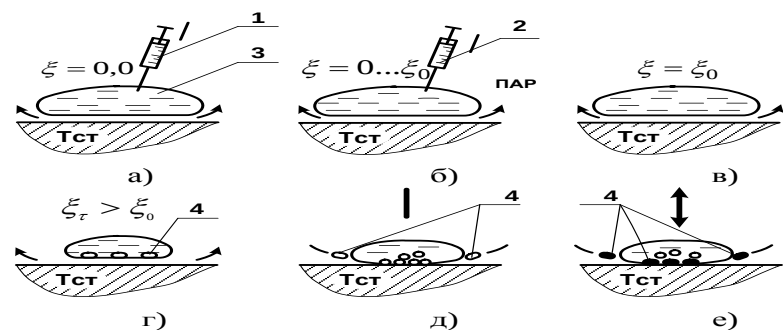
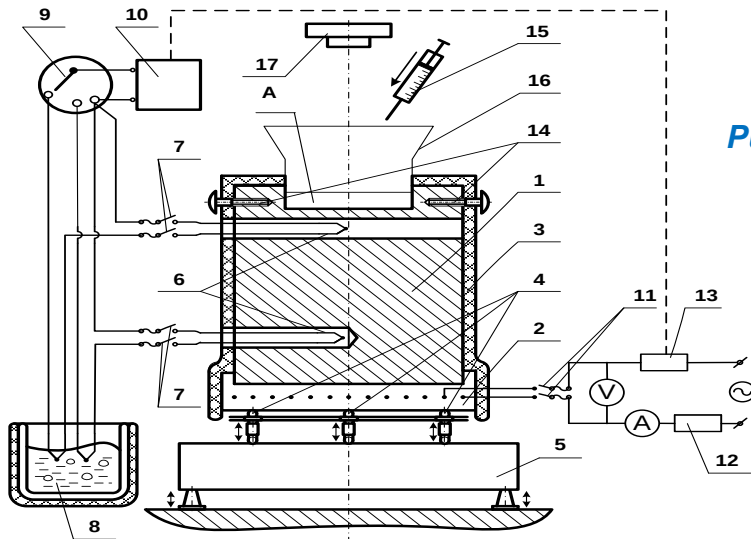
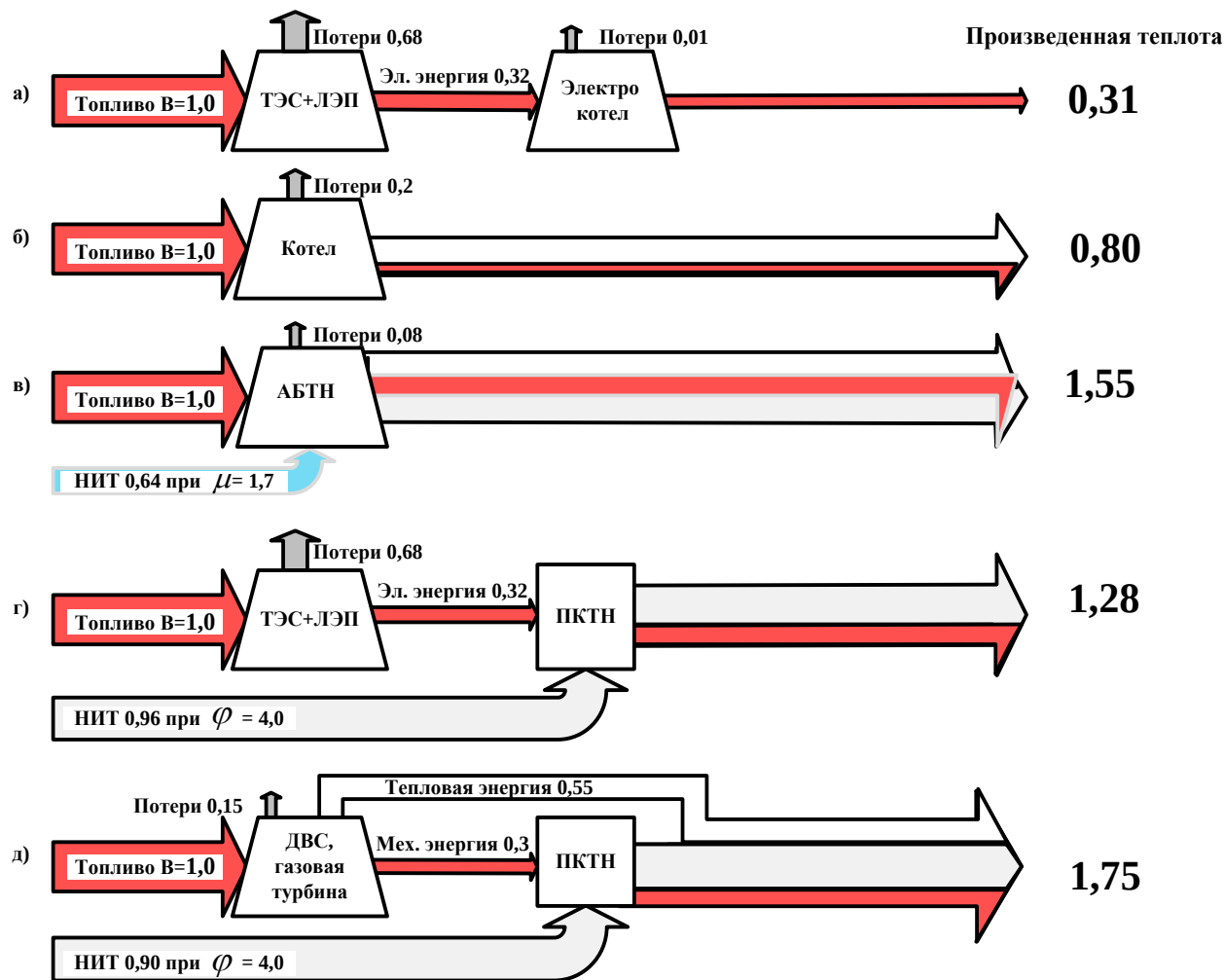


Рис. Испарение: 1-вода; 2-этанол; 3- R-113 ($m_0 = 10^{-3} \text{ кг}$, $T_{\text{ст.}} = 400^\circ\text{C}$)



Эксергетическая эффективность теплоисточников



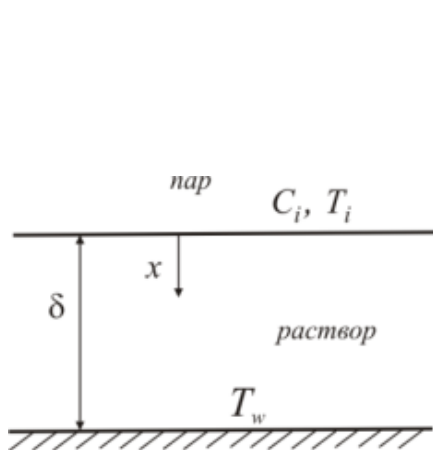
Задачи:

1. Определить эффективность АБТН для двух и трехступенчатой схем регенерации.
2. Для приведенной схемы тригенерации осуществить замену ПКТН на АБХМ с одно, двух и трехступенчатой регенерацией раствора и определить их эффективность.

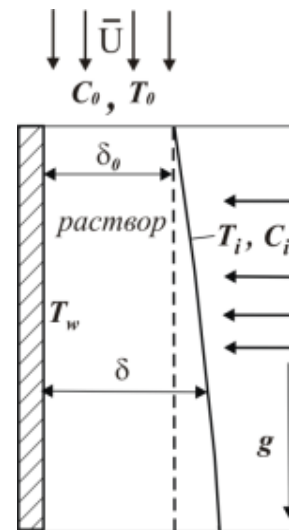
Объекты теоретического исследования неизотермической абсорбции

Существуют две основные модели :

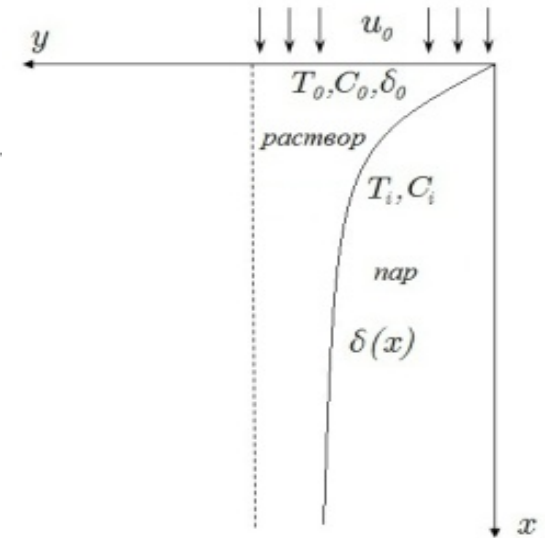
1. Не учитывающая выделение тепла - изотермическая абсорбция;
2. Учитывающая выделение тепла при абсорбции – неизотермическая абсорбция



**абсорбция на
зеркале раствора**

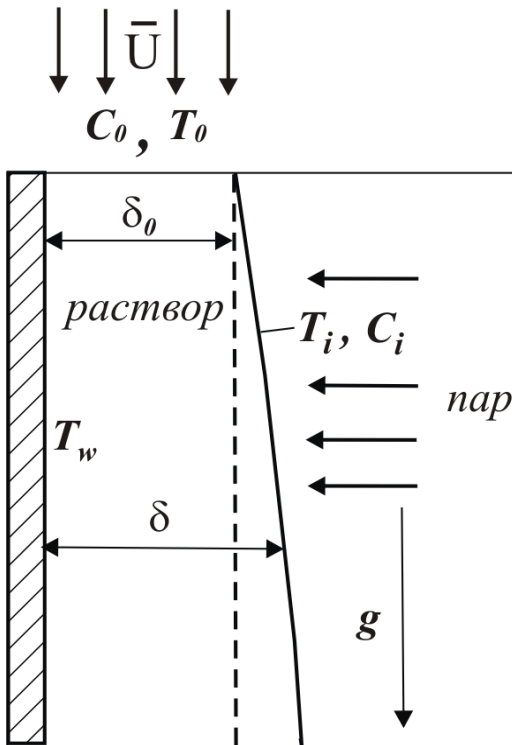


**абсорбция на
стекающих по
поверхности
пленках жидкости**



**абсорбция на
струях и
пленках со
свободными
границами**

Абсорбция пленкой, стекающей по вертикальной поверхности



$$U \frac{\partial T}{\partial x} = a \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}$$

$$U \frac{\partial C}{\partial x} = D \frac{\partial^2 C}{\partial y^2}$$

$$U = \frac{g}{\nu} \delta y - \frac{g}{2\nu} y^2$$

условия на входе ($x=0$):

$$T=T_0, C=C_0,$$

условия на непроницаемой
изотермической или
адиабатической стенке ($y=0$):

$$\frac{\partial C}{\partial y} = 0, \quad T(x, 0)=T_w \quad \text{или} \quad \frac{\partial T}{\partial y} = 0$$

условия на поверхности пленки ($y=\delta$): $C_i=k_1-k_2 \cdot T_i$; $-\lambda \frac{\partial T}{\partial y} = r_a m_a$

$$m_a = C_i(m_a + m_b) - \rho D \frac{\partial C}{\partial y}, \quad m_b=0, \quad m_a = C_i m_a - \rho D \frac{\partial C}{\partial y}, \quad m_a = -\frac{\rho D}{1-C_i} \frac{\partial C}{\partial y}$$

АВТОМОДЕЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ НАЧАЛЬНОГО УЧАСТКА

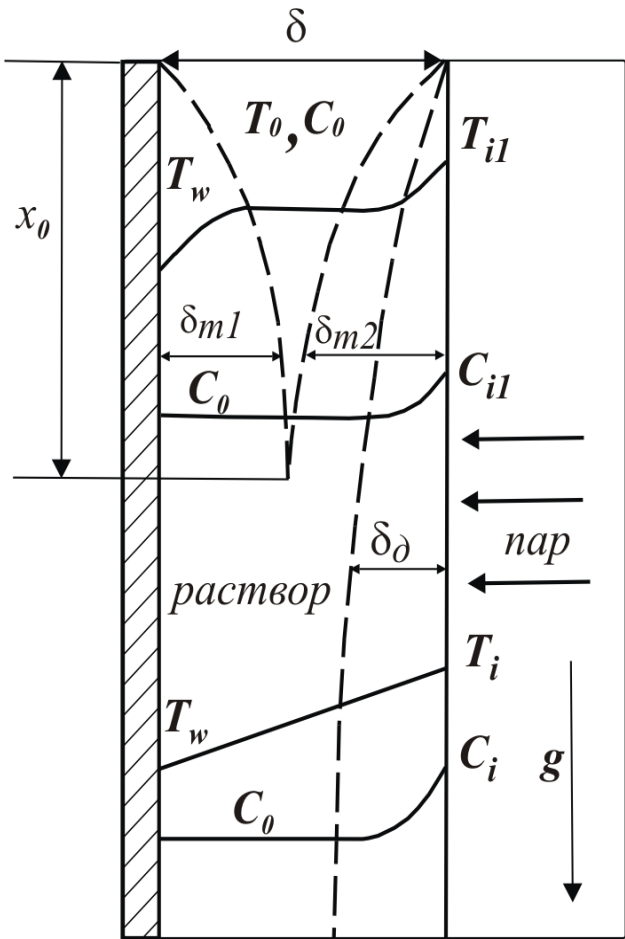


Схема задачи о тепломассопереносе на начальном участке и участке с линейным профилем температуры.

В тепловом погранслое вблизи

стенки:

$$\eta_1 = y [g \delta / (9 \cdot \nu \cdot a \cdot x)]^{1/3}$$

$$T = T_w + \frac{T_0 - T_w}{\Gamma(4/3)} \int_0^{\eta_1} \exp(-\eta_1^3) d\eta_1$$

$$q_w = -\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \Big|_{y=0} = -\lambda \frac{T_0 - T_w}{\Gamma(4/3)} \cdot \frac{(g\delta)^{1/3}}{(9\nu \cdot a \cdot x)^{1/3}}$$

$$\begin{aligned}\bar{q}_w &= \frac{1}{L} \int_0^L q_w dx = \frac{3}{2} \frac{\lambda(T_0 - T_w)}{\Gamma(4/3)} \cdot \frac{(g\delta)^{1/3}}{(9\nu \cdot a \cdot L)^{1/3}} = \\ &= \frac{3^{2/3}}{2 \cdot \Gamma(4/3)} \cdot \frac{\lambda(T_0 - T_w)}{\delta} \cdot (\text{Re} \cdot \text{Pr})^{1/3} \cdot \frac{\delta^{1/3}}{L^{1/3}}\end{aligned}$$

$$\alpha = \frac{\bar{q}_w}{\text{Pr}^{1/3} T_w - T_0} ; \text{Nu}_w = \frac{\alpha \cdot L}{\lambda} = 1.165 \cdot \left(\text{Re} \cdot \frac{L^{2/3}}{\delta^{2/3}} \right)$$

В ТЕПЛОМ ПОГРАНСЛОЕ ВБЛИЗИ ПОВЕРХНОСТИ ПЛЕНКИ

$$\theta = \theta_i \cdot \left\{ 1 - \operatorname{erf} \left[\frac{3(1-\eta)^2}{8 \cdot \xi} \right]^{1/2} \right\} \quad \theta = \frac{T - T_0}{T_e - T_0} \quad \gamma = \frac{C - C_0}{C_e - C_0}$$

$$\gamma = \gamma_i \cdot \left\{ 1 - \operatorname{erf} \left[\frac{3(1-\eta)^2}{8 \cdot \operatorname{Le} \cdot \xi} \right]^{1/2} \right\} \quad \eta = y / \delta; \quad \xi = \frac{3}{\operatorname{Pr} \cdot \operatorname{Ga}} \cdot \frac{x}{\delta};$$

$$\theta_i = \frac{\operatorname{Ka} \cdot \operatorname{Le}^{1/2}}{1 + \operatorname{Ka} \cdot \operatorname{Le}^{1/2}} \quad \gamma_i = \frac{1}{1 + \operatorname{Ka} \cdot \operatorname{Le}^{1/2}}$$

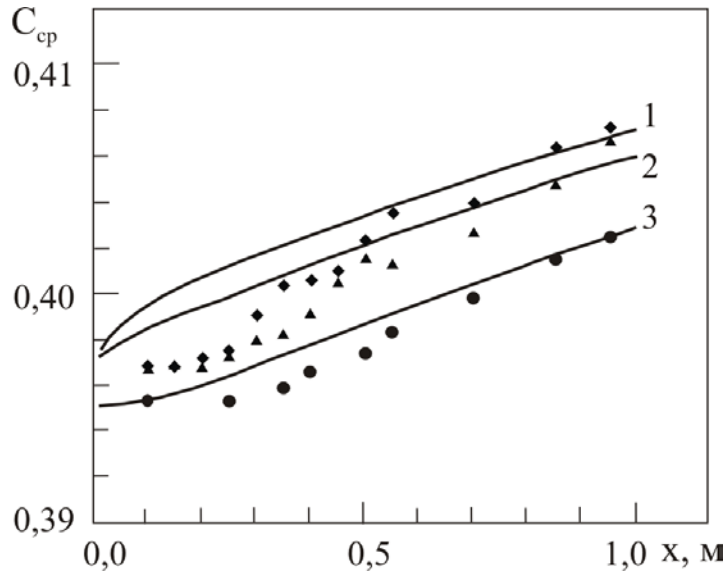
$$\operatorname{Nu} = \frac{\alpha \cdot L}{\lambda} = \frac{\bar{q} \cdot L}{\lambda \cdot (T_e - T_0)} = (6\pi)^{1/2} \cdot \frac{\operatorname{Pe}^{1/2} \cdot \operatorname{Ka} \cdot \operatorname{Le}^{1/2}}{1 + \operatorname{Ka} \cdot \operatorname{Le}^{1/2}}$$

$$\operatorname{Pe} = (u \cdot L) / a = \operatorname{Re} \operatorname{Pr} (L / \delta)$$

$$\operatorname{Sh} = \frac{\beta \cdot L}{\rho \cdot D} = \frac{\bar{m} \cdot L}{\rho \cdot D \cdot (C_e - C_0)} = (6/\pi)^{1/2} \cdot \frac{\operatorname{Pe}^{1/2}}{\operatorname{Le}^{1/2} \cdot (1 + \operatorname{Ka} \cdot \operatorname{Le}^{1/2})}$$

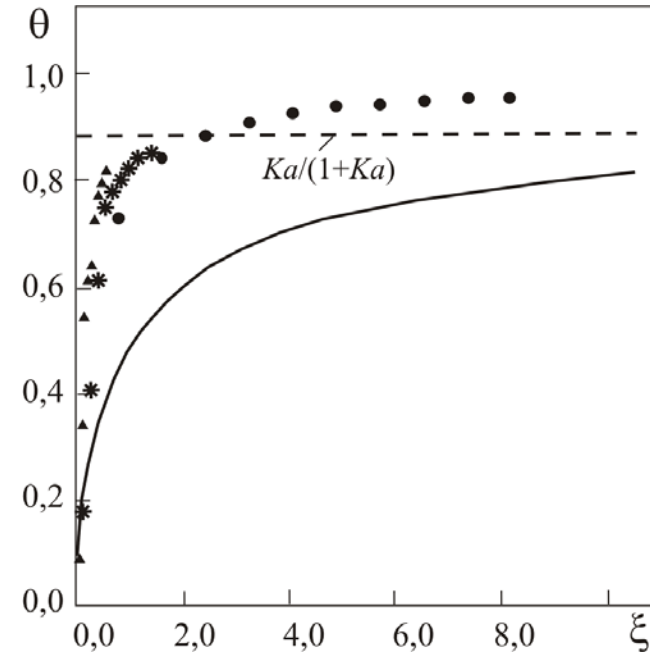
$$\operatorname{Sh} / \operatorname{Sh}_{\text{из}} = \left(1 + \operatorname{Ka} \cdot \operatorname{Le}^{1/2} \right)^{-1}$$

СРАВНЕНИЕ С ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМИ ДАННЫМИ



Изменение средней концентрации воды в растворе бромистого лития по длине вертикальной трубы: линии 1, 2, 3 - расчет.

Re=69, P=0.96 кПа, T_w=24 °C, 1, ♦ - (C₀=0.397, T₀=24 °C); 2, ▲ - (C₀=0.397, T₀=33 °C); 3, ● - (C₀=0.395, T₀=44.6 °C).



Изменение средней по сечению пленки температуры вдоль вертикальной поверхности. Сплошная линия – расчет, пунктирная линия - асимптотическое значение. (P=0,96 кПа;

*Ka=7.6, Le=0.014; ●*Re=12; - Re=44; ▲ - Re=94).*

- Бурдуков А.П., Буфетов Н.С., Дорохов А.Р. Абсорбция на стекающей пленке жидкости // Изв. СО АН СССР. Серия технич. наук. - 1979. - Вып. 3. – N 13. - С. 48-52.
- Бурдуков А.П., Буфетов Н.С., Дорохов А.Р. Абсорбция на стекающей по адиабатической стенке пленке жидкости // Изв. СО АН СССР. Серия технич. наук. - 1981. - Вып.1. – N 3. - С. 13-16.
- Бурдуков А.П., Буфетов Н.С., Дорохов А.Р. Теплоотдача к тонким пленкам жидкости при абсорбции // Известия СО АН СССР. Серия техн. наук. - 1982. - Вып.1, N 3. - С. 10-14.

ПЛЕНОЧНАЯ АБСОРБЦИЯ ИЗ СМЕСИ ГАЗОВ, СОДЕРЖАЩЕЙ НЕРАСТВОРИМЫЙ КОМПОНЕНТ (приближенное решение)

Газовая среда:

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = 0$$

$$u \frac{\partial C_2}{\partial x} + v \frac{\partial C_2}{\partial y_2} = D_2 \frac{\partial^2 C_2}{\partial y_2^2}$$

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y_2} = \nu_2 \frac{\partial^2 u}{\partial y_2^2}$$

$$u \frac{\partial T_2}{\partial x} + v \frac{\partial T_2}{\partial y_2} = a_2 \frac{\partial^2 T_2}{\partial y_2^2}$$

$$y_2 = y - \delta; \quad C_2 = \rho_2 / \rho_{см}; \quad u(x, \infty) = 0; \quad v(x, \infty) = 0; \quad C_2(x, \infty) = C_\infty; \quad T_2(x, \infty) = T_\infty$$

Условия на границе раздела фаз: $u(x, 0) = 3/2U$

$$\rho_2 v|_{y_2=0} - \rho_{см} \frac{\partial C_2}{\partial y_2} = 0; \quad \left. \frac{-\rho_{жс} D_1}{1 - C_0} \frac{\partial C_1}{\partial y} \right|_{y=\delta} = -\rho_{см} D_2 \frac{\partial(1 - C_2)}{\partial y_2} \Big|_{y_2=0} + \rho_1 v|_{y_2=0}$$

$$\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial y} \Big|_{y=\delta} = \frac{r_a \rho_{жс} D_1}{1 - C_0} \frac{\partial C_1}{\partial y} \Big|_{y=\delta}; \quad C_{1i} = f(C_{2i}, T_i)$$

ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОС ПРИ НЕИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ПЛЕНОЧНОЙ АБСОРБЦИИ С ИЗМЕНЕНИЕМ ОБЪЕМА ЖИДКОЙ ФАЗЫ

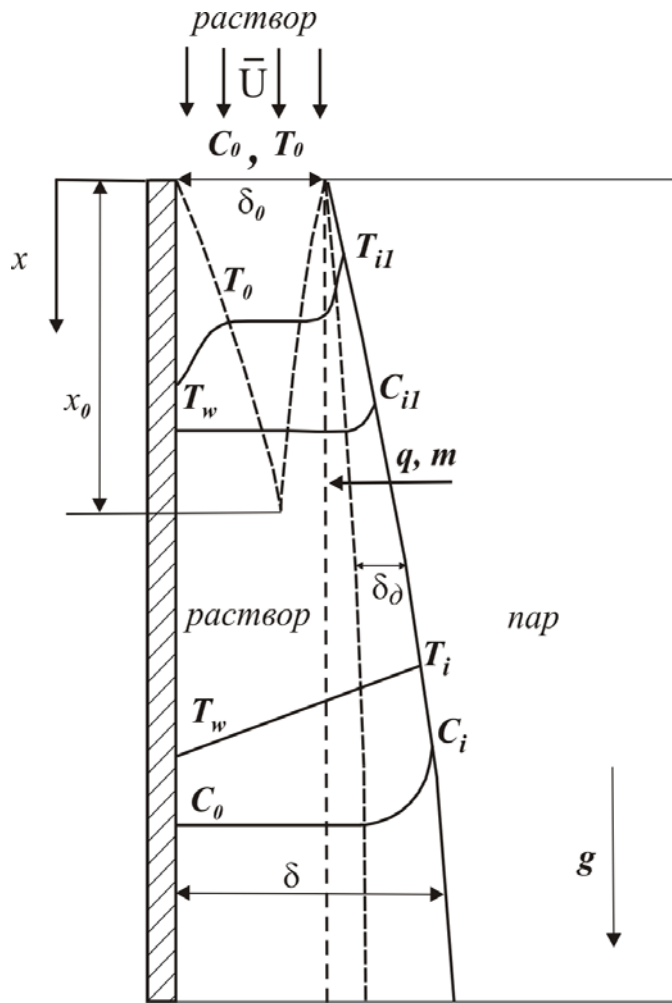


Схема задачи с переменной толщиной пленки

$$U = 3/2 \cdot \bar{U} = \frac{\rho g}{2\mu} \cdot \delta^2$$

$$-\frac{\lambda}{r_a} \frac{\partial T}{\partial y} = -\frac{\rho D}{1-C_0} \frac{\partial C}{\partial y} = 3\rho \bar{U} \cdot \frac{d\delta}{dx}$$

$$\Delta^2 \frac{\partial \theta}{\partial \xi} = \frac{\partial^2 \theta}{\partial \eta^2} ; \quad \Delta^2 \frac{\partial \gamma}{\partial \xi} = Le \frac{\partial^2 \gamma}{\partial \eta^2}$$

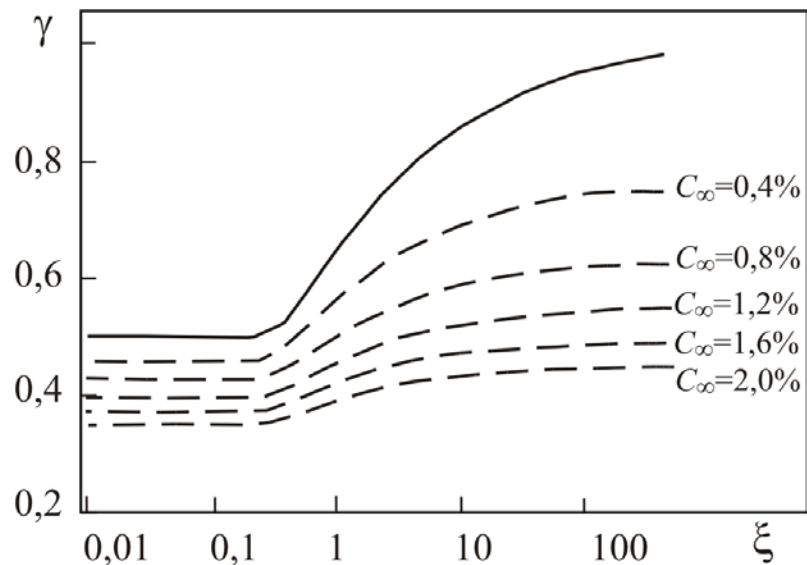
$$-\frac{\partial \theta}{\partial \eta} = -Le \cdot Ka \frac{\partial \gamma}{\partial \eta} = \frac{2Ka}{C_e - C_0} \cdot \Delta^2 \cdot \frac{d\Delta}{d\xi}$$

Замена переменных $\eta_1 = \eta / \Delta$ $\xi_1 = \int_0^\xi \frac{dt}{\Delta^4}$;

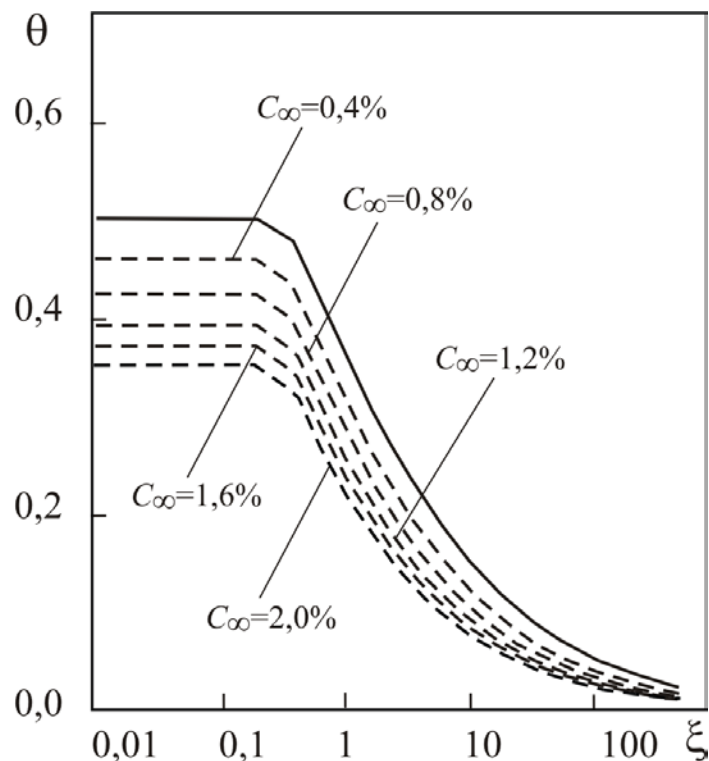
$$\theta = \theta_i \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{1 - \eta_1}{2\xi_1^{1/2}} \right) \right] ; \quad \gamma = \gamma_i \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{1 - \eta_1}{2(Le \cdot \xi_1)^{1/2}} \right) \right] ;$$

$$\frac{d\Delta}{d\xi_1} = \frac{A \cdot \Delta}{\xi_1^{1/2}} ; \quad \ln \Delta = 2A\xi_1^{1/2} ; \quad A = \frac{Le^{1/2} \cdot (C_e - C_0)}{2\pi^{1/2}(1 + Ka \cdot Le^{1/2})} ;$$

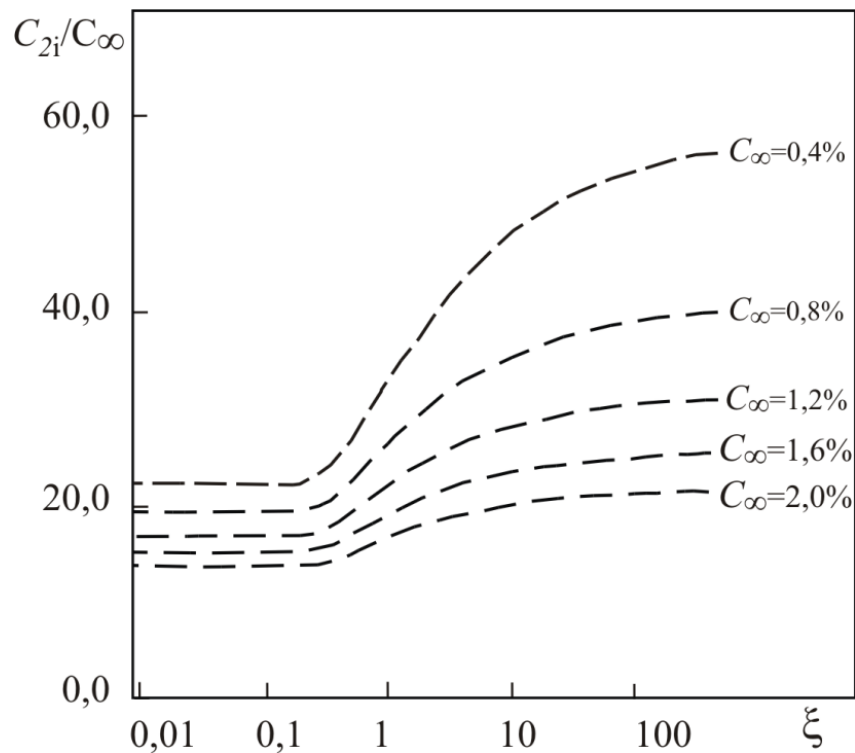
$$\xi = \xi(\Delta) = \frac{\Delta^4 \cdot (4 \cdot \ln \Delta - 1) + 1}{32A^2} ; \quad \xi = \frac{\exp(8A\xi_1^{1/2}) \cdot (8A\xi_1^{1/2} - 1) + 1}{32A^2}$$



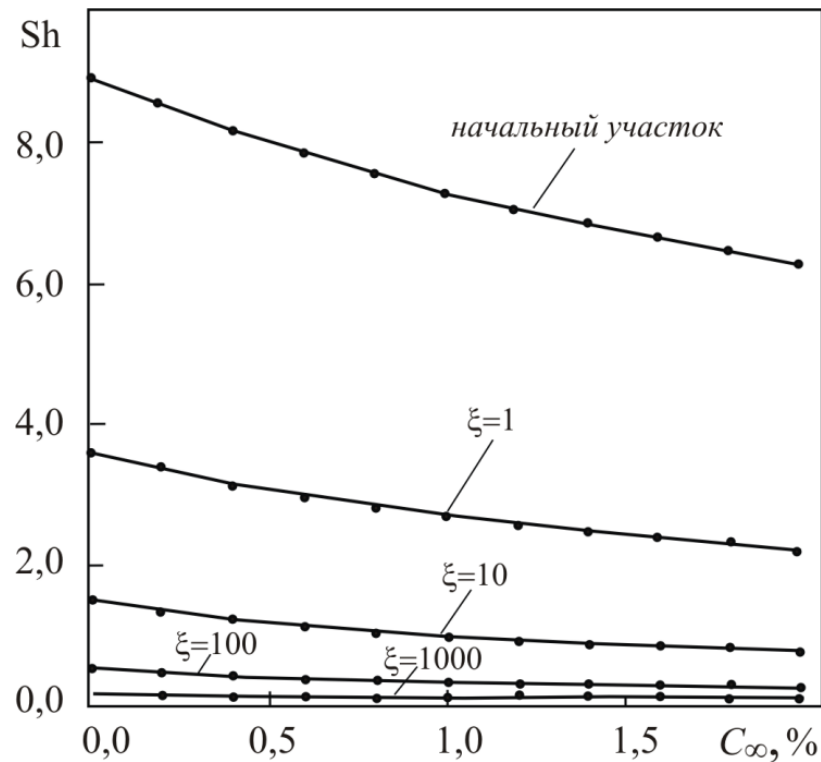
Изменение безразмерной равновесной концентрации воды вдоль поверхности пленки при различном содержании воздуха в паре. Сплошная линия – при отсутствии воздуха.



Изменение безразмерной равновесной температуры воды вдоль поверхности пленки при различном содержании воздуха в паре. Сплошная линия – при отсутствии воздуха.



Изменение относительного содержания воздуха вдоль поверхности пленки при различном содержании воздуха вдали от межфазной границы.



Зависимость числа Шервуда на поверхности пленки от концентрации воздуха в паре в различных сечениях пленки.

АБСОРБЦИЯ, ДЕСОРБЦИЯ, КОНДЕНСАЦИЯ, ИСПАРЕНИЕ НА НАЧАЛЬНОМ УЧАСТКЕ СВОБОДНО СТЕКАЮЩЕЙ ПЛЕНКИ:

$$\xi = y_1 \cdot x_1^{-1/4}$$

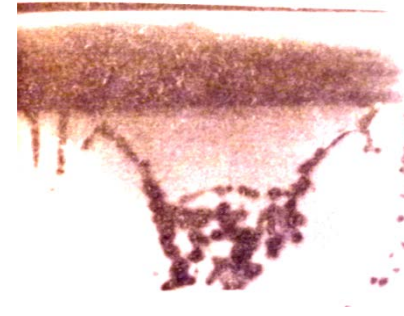
$$y^1 = \delta - y$$

$$\theta = \theta_i \left(1 - \operatorname{erf} \left(2^{-5/4} Fr^{1/4} Pe^{1/4} \xi \right) \right)$$

$$\gamma = \gamma_i \left(1 - \operatorname{erf} \left(2^{-5/4} Le^{-1/2} Fr^{1/4} Pe^{1/4} \xi \right) \right)$$

$$\theta_i = \frac{KaLe^{1/2}}{KaLe^{1/2} + 1}, \gamma_i = \frac{1}{KaLe^{1/2} + 1}$$

$$\theta = 1 - \operatorname{erf} \left(2^{-5/4} Fr^{1/4} Pe^{1/4} \xi \right)$$



Гогонин И.И. и др., 1993

$$\Delta_0 = \frac{\delta}{\delta_0} = \left(1 + 2Fr \frac{x}{\delta_0} \right)^{-1/2}$$

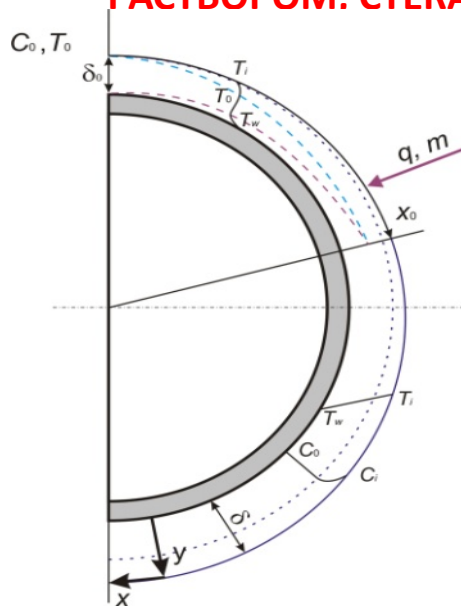
$$\frac{\delta}{\delta_0} = \Delta_0 \left[1 + \frac{2^{7/4} Le^{1/2} Fr^{1/4} (C_e - C_0)}{3\pi^{1/2} Pe^{1/2} (1 + Ka \cdot Le^{1/2}) (1 - C_0)} \left(\frac{x}{\delta_0} \right)^{3/4} \right]$$

$$\frac{\delta}{\delta_0} = \Delta_0 \left[1 + \frac{2^{7/4} Fr^{1/4}}{3\pi^{1/2} Pe^{1/2} K} \left(\frac{x}{\delta_0} \right)^{3/4} \right]$$

Расчет тепломассообмена в конденсаторе (на пакете труб) содержит следующие новые элементы:

- 1. Расчет на начальном участке, учитывающий натекание конденсата с вышерасположенной трубы и его прогрев до температуры насыщения в межтрубном пространстве.**
- 2. Расчет теплообмена в переходной ламинарно-волновой области по «остаточной» толщине пленки.**
- 3. Использование поправочного коэффициента для расчета теплообмена при конденсации на трубах малого диаметра.**
- 4. Учет наличия в паре неконденсируемых примесей.**

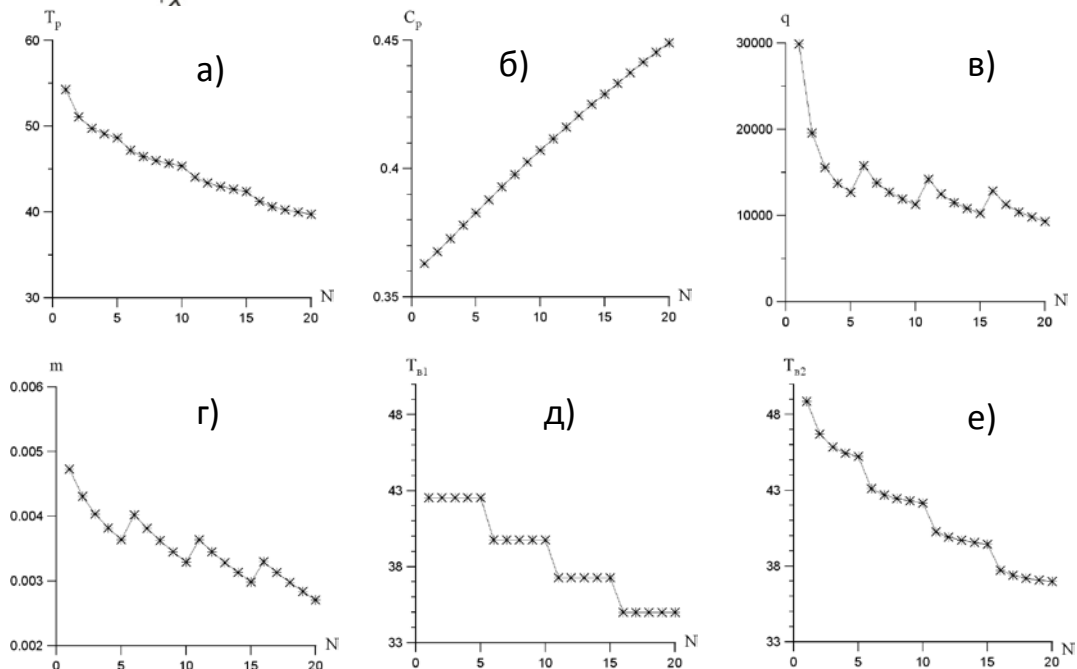
МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА ПРИ НЕИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ АБСОРБЦИИ РАСТВОРОМ. СТЕКАЮЩИМ ПО ПАКЕТУ ТРУБ АБСОРБЕРА ТЕРМОТРАНСФОРМАТОРА



$x \leq x_0$ - автомодельное решение на начальном тепловом участке
(Накоряков В.Е., Григорьева Н.И.)

$x_0 < x < \pi R$ – решение для линейного профиля температуры
(Накоряков В.Е., Григорьева Н.И.)

Характеристики теплообмена при абсорбции на пакете из 20 труб с охлаждением в секциях по 5 труб



N - номер трубы;
а) - T_p (°C) – средняя температура раствора;
б) - C_p – средняя концентрация раствора;
в) - q [Вт/(м²К)] – плотность теплового потока;
г) - m [кг/(м²с)] - плотность потока массы;
д) - $T_{в1}$ (°C) – температура охлаждающей воды на входе в трубы;
е) - $T_{в2}$ (°C) – температура охлаждающей воды на выходе из труб

Используя проведенные научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, коллектив конструкторов и инженеров при участии и под руководством Попова А.В. разработал 30 модификаций энергосберегающих высокоэффективных экологически чистых абсорбционных термотрансформаторов.

Абсорбционные бромистолитиевые холодильные машины:

- с водяным и паровым обогревом с одноступенчатой (АБХМ-В, АБХМ-П) и двухступенчатой (АБХМ2-П) регенерацией раствора мощностью 600, 1000, 1500, 2000, 3000 кВт;
- с низкотемпературным водяным обогревом с одноступенчатой регенерацией раствора (АБХМ-Вн) мощностью 600, 1000, 1500, 2000, 3000 кВт;
- с огневым обогревом (АБХМ-Т, Тс) мощностью 600, 1000, 2000 кВт;

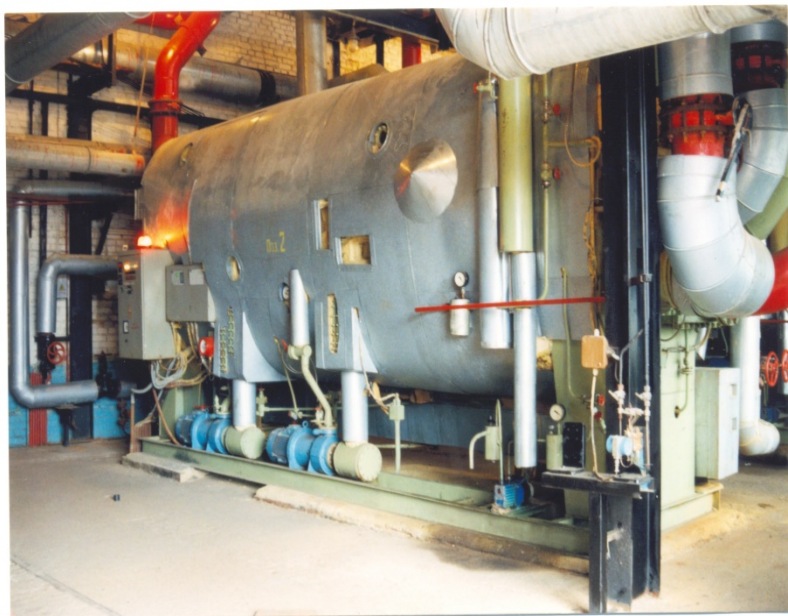
Абсорбционные бромистолитиевые тепловые насосы с паровым обогревом (АБТН-П) мощностью 600, 1000, 2000 кВт и газовой топкой (АБТН-Т) мощностью 600, 1000, 1500, 2000 кВт;

ПРЕИМУЩЕСТВА ОТЕЧЕСТВЕННЫХ АБТТ НАД ЗАРУБЕЖНЫМИ

Основными преимуществами, обеспечивающими их конкурентоспособность на российском рынке по сравнению с зарубежными фирмами являются:

- **стоимость наших машин ниже зарубежных в среднем на 35 %;**
- **возможность обеспечения их пуска и работы как в автоматическом режиме, так и в ручном, что упрощает процесс их адаптации к условиям реального производства;**
- **высокая надежность системы удаления из АБТТ неконденсирующихся газов, снижающих интенсивность процессов абсорбции.**

С 2001 по 2012 гг разработаны, изготовлены и испытаны:
21 холодильная машина и 3 тепловых насоса



ОАО «Уфакимпром», г. Уфа, 2002-2004 г.

Назначение: охлаждение технологической воды.

Две холодильные машины ABXM2-1500T суммарной мощностью 3000 кВт и одна ABXM-1500P мощностью 1750 кВт



**ФКП «Анозит», г.
Куйбышев, НСО, 2008 г.**

*Назначение: охлаждения воды
технологического цикла.*

Холодильная машина АБХМ-3000П мощностью 3000 кВт

**ООО «Карачинский
источник», п.
Карачи, НСО, 2010 г.**

*Назначение: охлаждение
минеральной воды.*

Две холодильные машины АБХМ-1500Тс суммарной мощностью 3000 кВт (на природном газе)



ОАО «Казаньоргсинтез»

г.Казань, 2007 г.

*Назначение: охлаждение воды при
производстве полиэтилена
высокого давления.*

Холодильная машина АБХМ-1500П мощностью 1500
кВт



ООО «ЮгАгро», Краснодарский край, 2007 г.

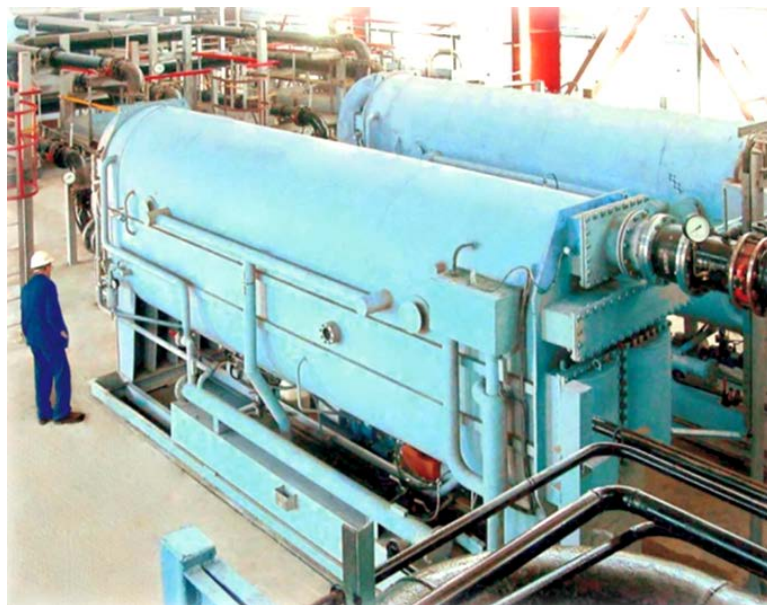
*Назначение: охлаждение воздуха в тепличном
комплексе.*

Холодильная станция мощностью 960 кВт на базе АБХМ-1000Вн

**ОАО «Тулачермет», г.
Тула, 2004 г.**

*Назначение: охлаждение
электролита для процесса
производства хрома.*

Холодильная станция мощностью 3000кВт на
базе двух АБХМ-1500П



**ООО «Корзинка-
6», г.Липецк, 2012 г.**

*Назначение: для
кондиционирования колбасного
цеха.*

Холодильная машина АБХМ-1000Вн мощностью
960 кВт



КОАО

«Азот», г.Кемерово, 2012

г.

*Назначение: для
охлаждения воды в
технологических системах
производства
капролактама.*

Холодильная машина АБХМ-2000П
мощностью 2200 кВт

ООО

**«Сельхозпроминвест», Краснодарс
кий край, 2005 г.**

*Назначение установки: получение
горячей воды для отопления и
горячего водоснабжения тепличного
комбината с использованием
геотермальной воды.*

Теплонасосная установка тепловой мощностью 4700
кВт на базе двух абсорбционных бромистолитиевых
тепловых насосов с огневым обогревом АБТН-600Т.





Калининская АЭС, г. Удомля, 2010 г.

Назначение: охлаждение оборудования четвертого энергоблока.

Холодильная станция мощностью 6000 кВт на базе двух холодильных машин АБХМ2-3000П

**«Абсорбционные термотрансформаторы»:
практическая реализация приоритетного направления
«Энергоэффективность и ресурсосбережение».**

Разработана конструкторская документация на 30 модификаций энергосберегающих высокоэффективных АБТТ;

В 2002-2012 гг было изготовлено (основной изготовитель – КВСК филиал ОАО «Алтайвагон» г. Кемерово) и запущено в эксплуатацию в различных отраслях промышленности, сельского хозяйства и социальной сферы 24 опытно-промышленных АБТТ суммарной холодопроизводительностью 36 МВт и теплопроизводительностью 6 МВт;

Реальная экономия в результате применения только одного АБТН-600Т, для отопления тепличного комплекса, за 6 лет его эксплуатации составила 8500 т у. т.;

По сравнению с компрессионными (электроприводными) холодильными машинами реальная экономия электроэнергии от всех внедренных АБХМ на объектах составляет 400 ГВт/ч;

Создано и опробировано оборудование для реализации технологий тригенераций (холодильные машины АБХМ-1000Вн)

СРАВНЕНИЕ СТОИМОСТИ АБСОРБЦИОННЫХ БРОМИСТОЛИТИЕВЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН КОНСТРУКЦИИ ООО «ОКБ ТЕПЛОСИБМАШ» С ЗАРУБЕЖНЫМИ АНАЛОГАМИ

Холодильные машины	Холодильная мощность, кВт	Стоимость, млн. руб. (без учета НДС)	Средняя стоимость зарубежных аналогов* млн. руб. (без учета НДС)
Одноступенчатые холодильные машины с паровым нагревом (водяным нагревом)			
АБХМ-1000П (В) -10	1150	6,7	9,1
АБХМ-1500П (В) -10	1750	8,4	11,7
АБХМ-2000П (В) -10	2200	9,5	13,0
АБХМ-3000П (В) -10	3000	11,4	15,3
Одноступенчатые холодильные машины с низкотемпературным водяным обогревом			
АБХМ-1000Вн-10	960	7,1	9,5
АБХМ-1500Вн-10	1440	8,9	11,9
АБХМ-2000Вн-10	1800	10,1	13,6
АБХМ-3000Вн-10	2500	12,4	16,9

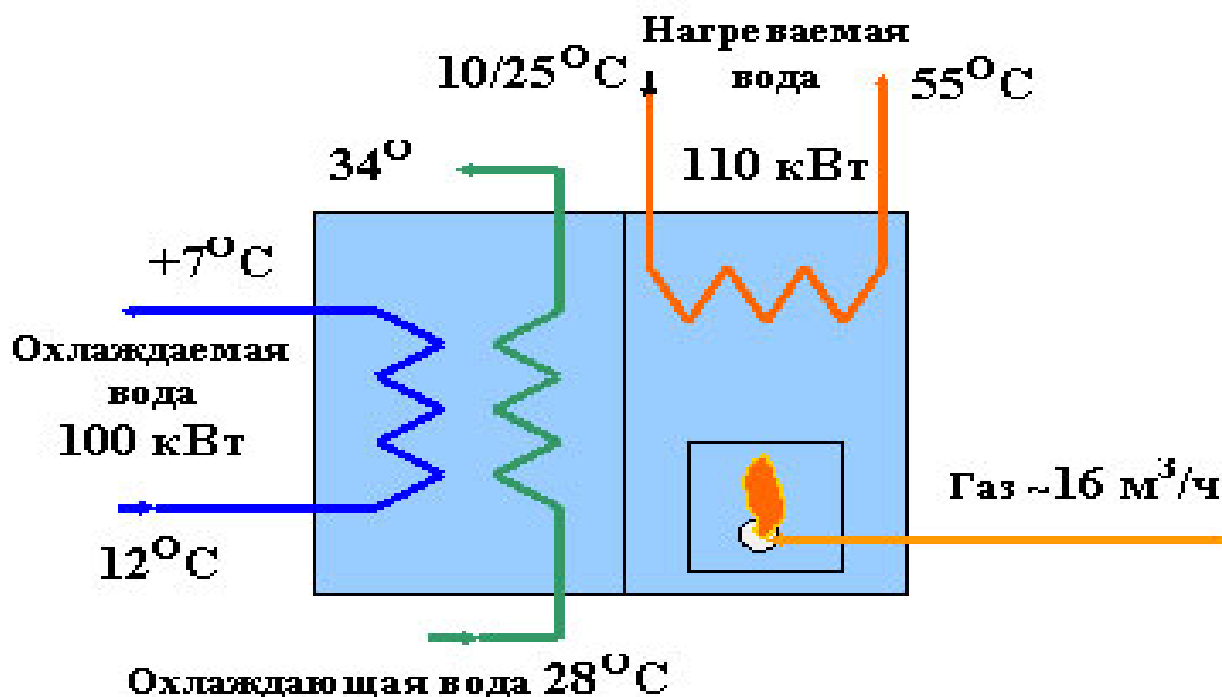
- - абсорбционные холодильные машины «BROAD» (Китай), «YORK -JOHNSON CONTROLS» (США), «THERMAX» (Индия), «SANYO» (Япония)

Режимы работы абсорбционного бромистолитиевого водоохладителя - водоподогревателя на газовом топливе АБХМ-100/140Т

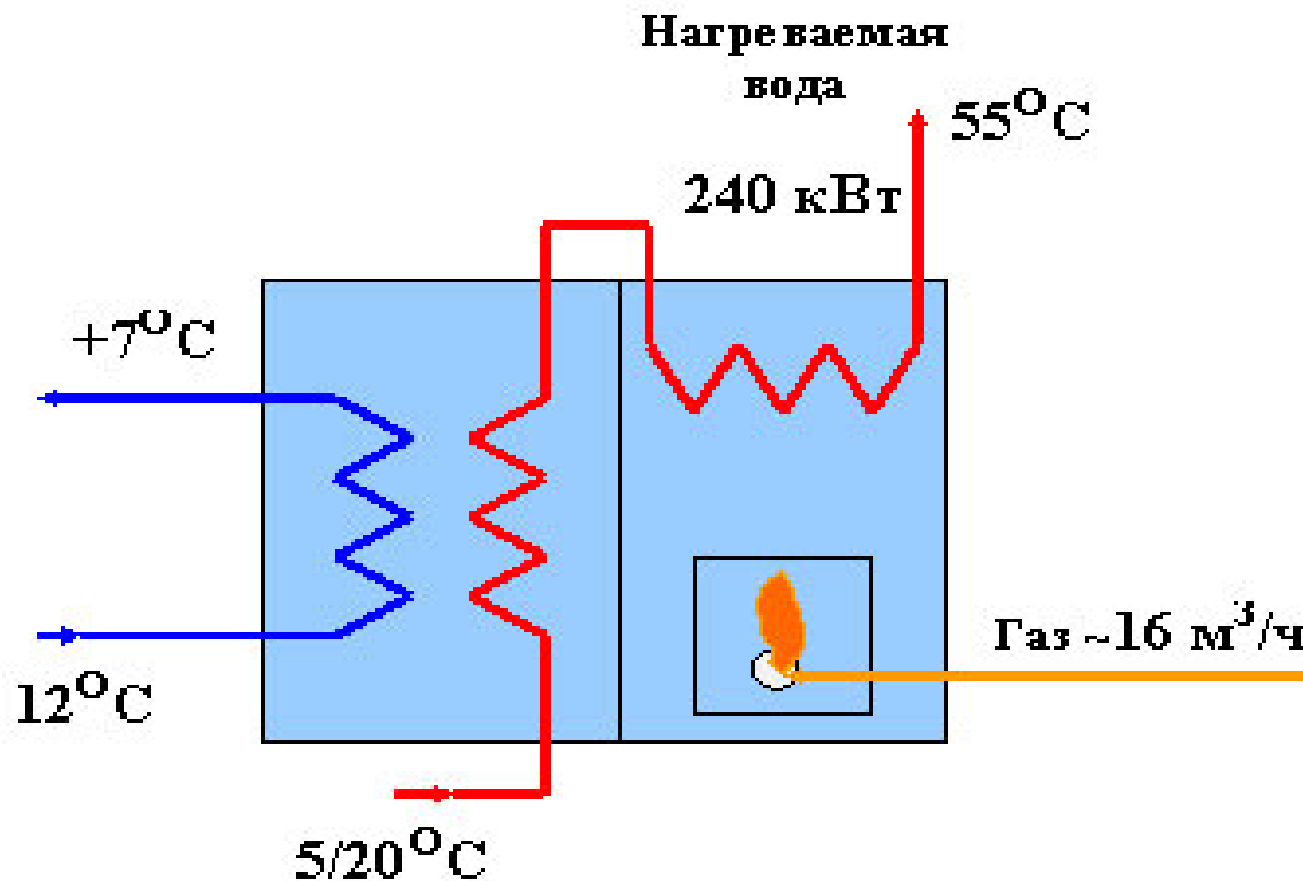
Назначение и область применения

Машина предназначена для охлаждения и нагрева воды автономных систем кондиционирования и теплоснабжения зданий. Работа машины может осуществляться в трех режимах:

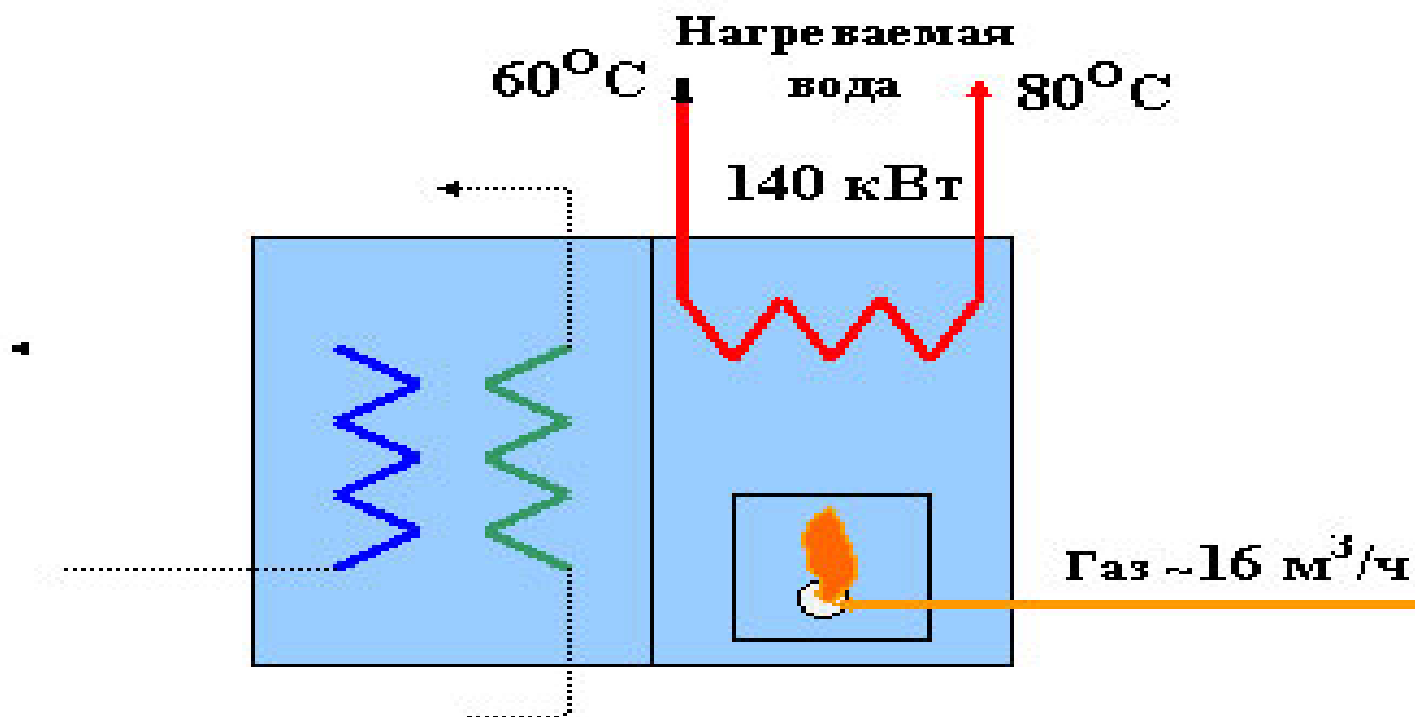
1. Комбинированный режим – выработка холода с получением холодной воды и частичное использование отводимой теплоты для получения горячей воды.



2. Теплонасосный режим – выработка холода с получением холодной воды и полное использование отводимой теплоты для получения горячей воды.



3. Отопительный режим – выработка теплоты с получением горячей воды.



Параметры	Комбинированный режим	Теплонасосный режим	Отопительный режим
Холодопроизводительность, кВт	100	100	
Теплопроизводительность, кВт	110	240	140
Расход природного газа(теплотворная способность, низшая - 8500 ккал/нм³), нм³/ч	16	16	16
Температура охлаждаемой воды, вход / выход, ° C	12 / 7	12 / 7	
Температура нагреваемой воды, вход / выход, ° C	5,25 / 55	не более 20 / 55	60 / 80
Температура охлаждающей оборотной воды, вход /выход, ° C	28 / 34		
Расход охлаждаемой воды, м³/час	17,2	17,2	
Расход нагреваемой воды, м³/час	до 3,2	до 6,0	до 6,0
Расход охлаждающей воды, м³/час	20		
Расход электроэнергии, кВт	1,0	1,0	0,35

Параметры режимов работы АБХМ-100 / 140

Допускаемое давление теплоносителей (воды) до 650 кПа.

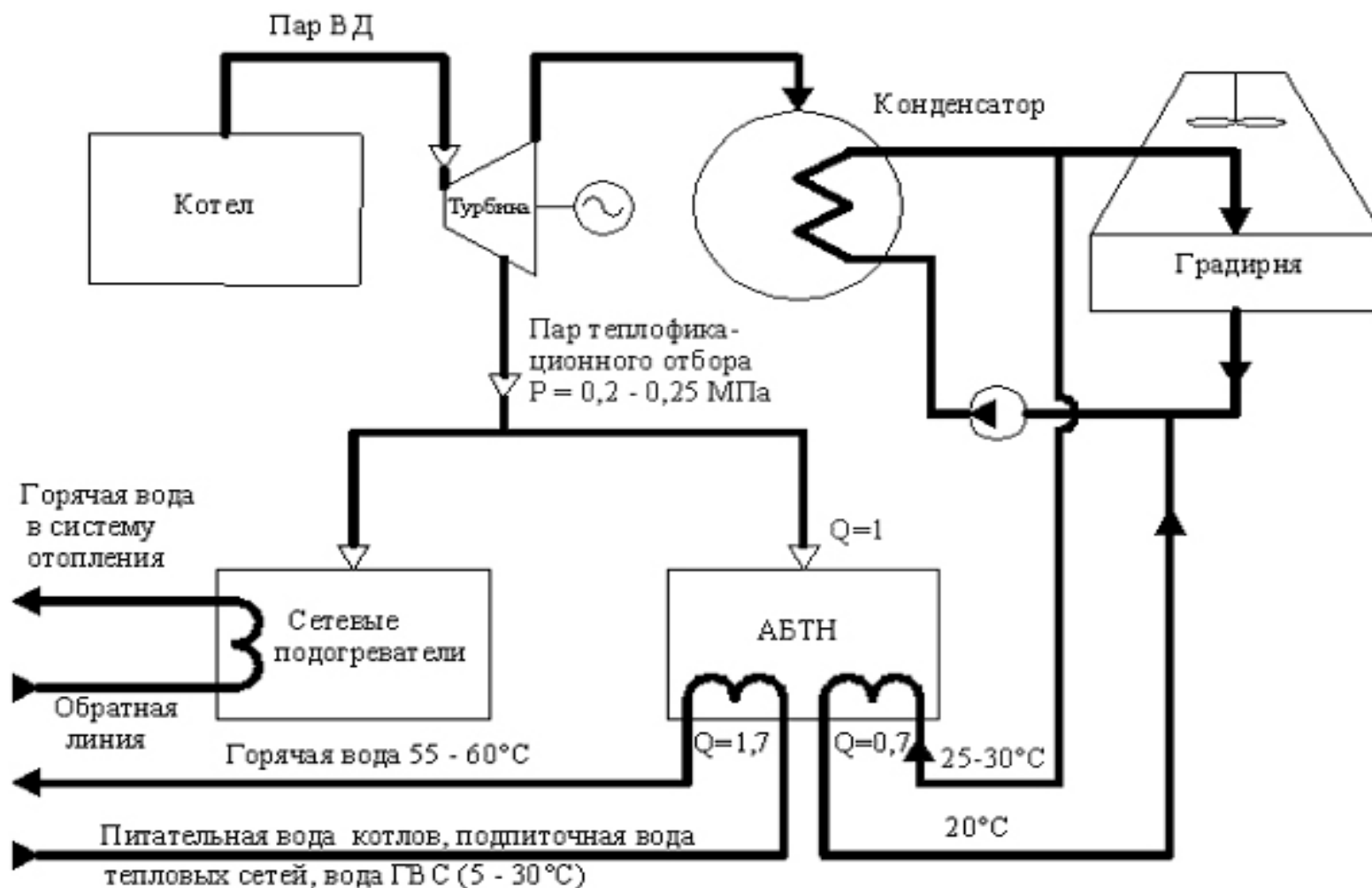
Гидравлическое сопротивление трактов воды до 60 кПа.

Габариты *: длина - 1,8м, ширина - 1,2м, высота - 1,8м.

Масса*: сухая - 1500 кг, в рабочем состоянии - 1800 кг.

* подлежат уточнению.

Применение на ТЭЦ



Такая схема позволяет без изменения балансов и параметров пара в турбине значительно увеличить мощность теплофикационной части станции без увеличения расхода топлива.

Спасибо за внимание !