

УДК 621.182

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ДЕАЭРАЦИИ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ

Дихтярь Т.В.

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им В.И. Вернадского»,
Институт «Академия строительства и архитектуры»,
295943, г. Симферополь, ул. Киевская, 181, e-mail: ta_titova@mail.ru

Аннотация. Существующие методы деаэрации воды подразделяют на физические и химические. Сущность физических методов деаэрации заключается в следующем: вода, содержащая удаляемый газ, приводится в соприкосновение с воздухом, если парциальное давление этого газа в воздухе близко к нулю; создаются условия, при которых растворимость газа в воде становится ничтожно малой. С помощью первого приема аэрации воды, обычно удаляют свободную углекислоту и сероводород, поскольку парциальное давление этих газов в атмосферном воздухе близко к нулю. Ко второму приему прибегают при извлечении кислорода из воды. В этом случае ввиду значительного парциального давления кислорода в атмосферном воздухе аэрацией воды кислород удалить нельзя, поэтому воду доводят до кипения, тогда растворимость всех газов в ней падает до нуля. Для этого применяют либо нагревание воды, либо понижение давления до величины, при которой вода кипит без дополнительного подогрева в вакуумных деаэраторах. В вакуумном деаэраторе большая часть газов выделяется из воды в виде пузырьков, которые выходят на поверхность воды. Целью настоящей работы является определение расхода выпара, который образуется в результате термической обработки воды в вакуумном деаэраторе. Процесс деаэрации по своей физической сущности не зависит от величины абсолютного давления. Нулевая растворимость газов может быть достигнута при любой температуре кипения, а значит и при температуре кипения ниже 100°C, так что деаэрацию воды можно осуществить при давлении ниже атмосферного. Определен расход выпара в результате обработки воды в вакуумном деаэраторе.

Предмет исследования: процессы массообмена в тепловых потоках.

Материалы и методы: математические методы физического и численного моделирования.

Результаты: в результате исследований получены зависимости, позволяющие установить связь расхода выпара и деаэрированной воды.

Выводы: уточнено соотношение для определения расхода выпара в процессе деаэрации.

Ключевые слова: термическая деаэрация, концентрация газа, коэффициент растворимости газа, энтальпия, выпар, вакуум.

ВВЕДЕНИЕ

Термическая деаэрация воды основана на использовании закона растворимости газа в жидкости - закона Генри. Согласно этому закону, концентрация газа, растворенного в жидкости, зависит от концентрации того же газа в газовой или парогазовой смеси над жидкостью. Концентрация газа в жидкости прямо пропорциональна концентрации газа в газовой или парогазовой смеси[1].

Концентрация газа C_G прямо пропорциональна его парциальному давлению p_G . Парциальное давление отдельного газа это то давление, которое он имел бы, если бы один занимал весь объем смеси газов. Общее давление газовой или парогазовой смеси равно сумме парциальных давлений газов и паров, составляющих смесь (закон Дальтона) [1]:

$$p = p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n. \quad (1)$$

Так как C_G прямо пропорциональна p_G , то зависимость C от C_G можно представить как зависимость C от p_G и выразить закон Генри применительно к воде так: растворимость газа в

воде прямо пропорциональна его парциальному давлению над водой, мг/кг[1]:

$$C = \psi p_G, \quad (2)$$

где ψ - коэффициент растворимости газа в воде, мг/кг-бар; p_G - парциальное давление газа над водой, бар.

Коэффициент ψ показывает, сколько миллиграмм газа растворяется в 1 кг воды при парциальном давлении газа в парогазовой смеси над водой, равном 1 бар[1].

Коэффициент растворимости газа ψ зависит от температуры. С повышением температуры ψ уменьшается, стало быть растворимость газа с повышением температуры также уменьшается[2].

Вычисляемое по формуле (2) содержание растворенного газа в воде отвечает состоянию полного насыщения воды газом[1].

На зависимости растворимости газа в воде от температуры и давления основана работа термического деаэратора. Для удаления из воды газов необходимо создать в деаэраторе температуру и давление, при которых растворимость газов станет равной нулю.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Для удаления из воды газов необходимо создать в деаэраторе температуру и давление, при которых растворимость газов станет равной нулю[1].

Рассмотрим, как эти условия достигаются. Кипение жидкости происходит при такой температуре, при которой давление паров жидкости по величине равно полному давлению в пространстве над жидкостью. Следовательно, при кипении воды давление водяных паров равно полному давлению над кипящей водой, и тогда парциальные давления газов в парогазовой смеси над кипящей водой практически близки к нулю. Стало быть, согласно закону Генри, растворимость газов в кипящей воде равна нулю.

Будем нагревать воду, находящуюся в сосуде под давлением атмосферного воздуха. При нагревании вода испаряется. С повышением температуры увеличивается испарение воды. При этом повышается парциальное давление водяных паров в воздухе над поверхностью воды. Поскольку общее давление над водой неизменно, то, согласно закону Дальтона, парциальное давление воздуха понижается, соответственно понижается и парциальное давление кислорода в воздухе. Доведем нагрев воды до температуры кипения. Как известно, при атмосферном давлении вода кипит при температуре 100°C. Парциальное давление $p_{\text{г}}$ кислорода над кипящей водой равно нулю. Следовательно, по закону Генри растворимость кислорода в воде при атмосферном давлении и температуре 100°C (состояние кипения) также равна нулю[3].

Если давление над водой выше атмосферного, то соответственно выше температура кипения. Поэтому для достижения нулевой растворимости газов при давлении выше атмосферного требуется более высокий нагрев воды[4].

Итак, нулевая растворимость газов в воде при любом давлении достигается при кипении воды. Практически в термических деаэраторах воду удается нагреть до температуры немного ниже температуры кипения. Для достижения наибольшей глубины деаэрации добиваются, чтобы разность между температурой кипения и конечной температурой воды в деаэраторе была минимальной - 0,1 - 0,2°C. Эту разность температур называют недогревом воды[4].

Если давление над водой меньше атмосферного, то вода кипит при температуре ниже 100°C. Чем меньше давление, тем ниже температура кипения[1].

Процесс деаэрации по своей физической сущности не зависит от величины абсолютного давления. Нулевая растворимость газов может быть достигнута при любой температуре кипения, а значит и при температуре кипения ниже 100°C, так что деаэрацию воды можно осуществить при давлении ниже атмосферного. Термические деаэраторы, работающие под давлением ниже

атмосферного, называют вакуумными деаэраторами[1].

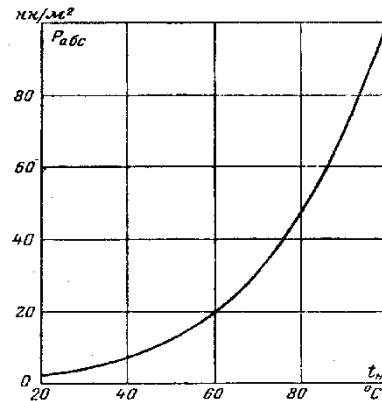


Рис. 1. Зависимость между температурой кипения воды и абсолютным давлением

Fig. 1. The relationship between the boiling point of water and absolute pressure

Рассмотрим, как изменяется содержание растворенного кислорода в воде при нагревании, если давление над водой ниже атмосферного. С повышением температуры парциальное давление водяных паров растет, а парциальное давление воздуха и содержание в нем кислорода падает, общее же давление сохраняется неизменным[1].

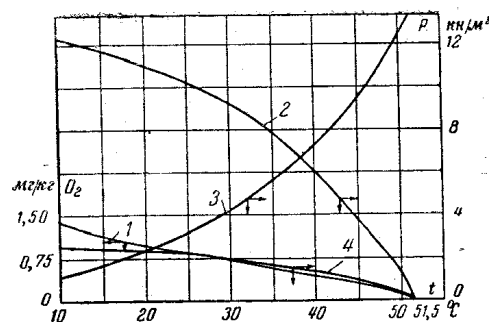


Рис. 2. Зависимость содержания растворенного кислорода, насыщающего воду, и парциальных давлений воздуха, кислорода и водяного пара над водой от температуры при полном давлении паровоздушной смеси над водой 100 мм.рт.ст., относительная влажность воздуха 100 %:

1 – содержание кислорода, растворенного в воде; 2 – парциальное давление воздуха; 3 – парциальное давление водяного пара; 4 – парциальное давление кислорода, содержащегося в воздухе

Fig. 2. The dependence of the content of dissolved oxygen saturating water and the partial pressures of air, oxygen and water vapor above water on the temperature at full pressure of the vapor-air mixture above water of 100 mmHg, relative humidity of 100 %:

1 - the oxygen content dissolved in water; 2 - the partial pressure of air; 3 - the partial pressure of water vapor; 4 - the partial pressure of oxygen contained in the air.

При температуре 51,5°C (температура кипения воды при давлении 100 мм.рт.ст.) парциальное давление водяных паров становится равным

полному давлению, а давление воздуха и содержащегося в нем кислорода падает до нуля. Соответственно падает содержание растворенного кислорода в воде[1].

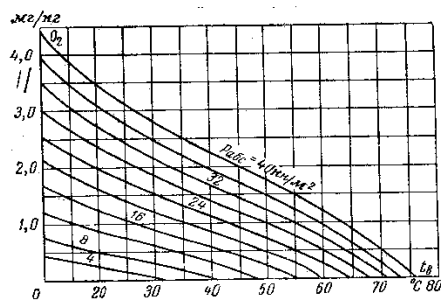


Рис. 3. Зависимость содержания растворенного кислорода, насыщающего воду от температуры и давления

(относительная влажность воздуха 100 %)

Fig. 2. Dependence of the content of dissolved oxygen saturating water on temperature and pressure (relative humidity 100%)

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Процесс деаэрации воды по мере движения ее через деаэратор постепенно замедляется вследствие понижения движущей силы процесса, поэтому удаление остаточного кислорода в значительной мере зависит от времени пребывания воды в деаэраторе. С увеличением продолжительности процесса увеличивается глубина деаэрации. Увеличение времени пребывания воды в деаэраторе достигается устройством ступеней - каскадов в виде полок или тарелок[5].

Греющий пар не должен содержать газов, особенно кислорода. Газы, содержащиеся в паре, ухудшают работу деаэратора и замедляют передачу тепла от пара к воде.

Расчет деаэратора с нагревом воды в нем производят на основе уравнений теплопередачи. Тепловой баланс деаэрационной установки составляется для определения полного расхода пара, подводимого к деаэратору.

В общем виде уравнение теплового баланса деаэратора записывается как равенство потоков теплоты введенных в деаэратор и вышедших из него, кДж/с[6]

$$Q_1 + Q_2 = Q_3 + Q_4 + Q_5, \quad (3)$$

где Q_1 - количество теплоты, подведенное в аппарат с обрабатываемой водой; Q_2 - количество теплоты, подведенное в аппарат с греющим паром; Q_3 - количество теплоты, отводимое из деаэратора с деаэрированной водой; Q_4 - количество теплоты, отводимое с выпаром; Q_5 - потери теплоты в окружающую среду.

$$Q_1 = G_B h_B, \quad (4)$$

где G_B - расход воды, поступающей на обработку, т.е. производительность деаэратора, кг/с; h_B - энтальпия воды, поступающей на обработку, кДж/кг.

$$Q_2 = G_{II} h_{II}, \quad (5)$$

где G_{II} - расход греющего пара, кг/с; h_{II} - энтальпия греющего пара, кДж/кг.

$$Q_3 = G_{Д.В} h_{Д.В}, \quad (6)$$

где $G_{Д.В}$ - расход деаэрированной воды, кг/с; $h_{Д.В}$ - энтальпия деаэрированной воды, кДж/кг.

$$Q_4 = G_{ВЫП} h_{ВЫП}, \quad (7)$$

где $G_{ВЫП}$ - расход выпара, кг/с; $h_{ВЫП}$ - энтальпия выпара, кДж/кг.

$$Q_5 = \alpha F (t_{из} - t_{в.оз}), \quad (8)$$

где α - коэффициент теплоотдачи от изоляции деаэратора к окружающему воздуху, Вт/(м²·К); F - площадь поверхности аппарата, м²[7]; $t_{из}$ - температура на поверхности изоляции (согласно требованиям техники безопасности не должна превышать 45°C); $t_{в.оз}$ - температура окружающего воздуха, (принимается равной температуре, установленной санитарными нормами для переходного периода года 22°C).

Для гидродинамического расчета вакуумных деаэраторов получена формула[2]

$$G_{II}^{2/3} = AS^3 \sqrt{\frac{\rho''}{G_B}}, \quad (9)$$

где A - коэффициент, имеющий в диапазоне вакуум 500-700 мм рт. ст.; S - сечение для прохода пара, м²; ρ'' - плотность пара, кг/м³.

Сечение для прохода пара определяется по формуле[2]

$$S = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2), \quad (10)$$

где D - внутренний диаметр колонки деаэратора, м; d - диаметр круглой тарелки деаэратора, м.

После преобразований окончательно получим

$$G_{II} = \sqrt{A^3 \left(\frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \right)^3 \frac{\rho''}{G_B}}. \quad (11)$$

Из формулы (9) выведем единицы измерения для коэффициента A .

$$\left(\frac{m}{\text{ч}}\right)^{2/3} = A \cdot m^2 \left(\frac{\text{кг} \cdot \text{ч}}{\text{м}^3 \cdot \text{м}}\right)^{1/3};$$

$$\frac{m^2}{\text{ч}^2} = A^3 \cdot \frac{\text{м}^6 \cdot \text{м} \cdot \text{ч}}{\text{м}^3 \cdot \text{м} \cdot 1000};$$

$$\frac{m^2}{\text{ч}^2} = A^3 \cdot \frac{\text{м}^3 \cdot \text{ч}}{1000},$$

отсюда

$$A = \frac{10 \cdot \sqrt[3]{m^2}}{\text{м} \cdot \text{ч}}.$$

Таким образом, получим формулу для определения расхода выпара

$$G_{\text{вып}} = \frac{G_B(h_B - h_{\text{д.в}}) + \sqrt{A^3 \left(\frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)\right)^3 \frac{\rho''}{G_B}(h_{\text{п}} - h_{\text{д.в}})} + \alpha F(t_{\text{из}} - t_{\text{воз}})}{h_{\text{вып}} - h_{\text{д.в}}}. \quad (14)$$

Нагрев воды по ступеням сильно меняется в зависимости от выпара. При малом выпаре нагрев воды на верхних ступенях незначителен. Вода нагревается в основном на нижних ступенях. С ростом выпара нагрев воды перемещается от нижних ступеней к верхним, и тогда на верхних ступенях вода нагревается больше. Это объясняется тем, что с увеличением выпара растут количество пара и температурный напор на верхних ступенях, одновременно растет коэффициент теплоотдачи от пара к воде. Выпар влияет на недогрев воды[8].

Таким образом, выпар - избыток пара, подаваемого в колонку - является средством изменения температурного режима деаэрационной колонки, благодаря чему изменение расхода выпара служит способом регулирования работы деаэрационной колонки[2].

Вода, поступающая в деаэратор, подогревается до температуры выше 50°C. Для вскипания воды с такой температурой необходим сравнительно неглубокий вакуум. Подогрев воды можно осуществлять путем нагрева в поверхностном газоводяном подогревателе, что позволит отказаться от охладителя выпара[9].

Если использовать теплоту конденсации (выпара), то возможно подогреть воду после химводоочистки для возврата в деаэратор, что позволит использовать с максимальной отдачей потенциал энергоносителей, снижая затраты на их использование.

Существенное значение имеет величина нагрева воды в колонке, определяющая совместно с величиной выпара расход пара на деаэратор. Чем больше пара подается в колонку, тем интенсивнее идет дробление воды потоком пара и,

Переведем т/ч в кг/с:

$$A = \frac{1}{3,6} \cdot \frac{\text{кг}^{2/3}}{\text{м} \cdot \text{с}}$$

Из материального баланса выразим связь расхода выпара и деаэрированной воды[6]

$$G_B + G_{\text{п}} = G_{\text{вып}} + G_{\text{д.в}}, \quad (12)$$

отсюда

$$G_{\text{д.в}} = G_B + G_{\text{п}} - G_{\text{вып}}. \quad (13)$$

следовательно, быстрее протекает процесс деаэрации.

Количество тепла, передаваемое от пара к воде определяется из уравнения теплового баланса[10]

$$Q = G_{\text{вып}}(h'_{\text{вып}} - h''_{\text{вып}})\eta_{\text{ном}} = G_B c_B (t''_B - t'_B), \quad (15)$$

где $G_{\text{вып}}$ - расход выпара, кг/с; $h'_{\text{вып}}$ - энтальпия пара на входе в аппарат, ккал/кг; $h''_{\text{вып}}$ - энтальпия пара на выходе из аппарата, ккал/кг; $\eta_{\text{ном}} \approx 0,97 - 0,995$ - коэффициент тепловых потерь, учитывающий потерю тепла на внешнее охлаждение; G_B - расход воды, кг/с; c_B - теплоемкость воды, ккал/(кг·°C); t''_B - температура воды на выходе из аппарата, °C; t'_B - температура воды на входе в аппарат, °C.

Таким образом, из формулы (15) можно определить температуру, до которой нужно подогреть воду, чтобы вернуть ее на деаэрацию, °C[10]

$$t''_B = \frac{G_{\text{вып}}(h'_{\text{вып}} - h''_{\text{вып}})\eta_{\text{ном}}}{G_B c_B} + t'_B. \quad (16)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Проведем эксергетический анализ для обоснования выбора принятой схемы.

Большинство процессов, протекающих в химико-технологических системах, в той или иной степени связано с теплообменом рабочих веществ и теплообменом с окружающей средой. При этом эксергия одного рабочего тела повышается за счет уменьшения эксергии другого. Часть эксергии безвозвратно теряется. Потери эксергии при теплообмене обусловлены несколькими причинами[11].

Наиболее значительны потери эксергии, связанные с передачей тепла при конечной разности температур теплоносителей, часть потерь вызвана продольной теплопроводностью (в теплообменниках тепло передается не только в направлении, перпендикулярном поверхности теплообмена, но и вдоль этой поверхности), гидравлическим сопротивлением аппарата, теплообменом с окружающей средой. Для определения эффективности работы теплообменных аппаратов необходимо оценить эти потери[12].

В процессе теплообмена никакой полезной работы не совершается и, следовательно, изменение эксергии теплового потока равно потерям, обусловленным необратимостью процесса из-за конечной разности температур теплоносителей. Таким образом, эксергетические потери от конечной разности температур при теплообмене для данного теплового потока пропорциональны средней разности эксергетических температур теплоносителей[11]:

$$\Delta E = E_r - E_x = Q\bar{\tau}_r - Q\bar{\tau}_x = Q\bar{\tau}_{cp}, \quad (17)$$

где E_r , E_x - эксергии горячего и холодного теплоносителей; $\bar{\tau}_r$, $\bar{\tau}_x$ - средние эксергетические температуры горячего и холодного теплоносителей; Q - тепловой поток между теплоносителями; $\bar{\tau}_{cp}$ - средняя разность эксергетических температур теплоносителей.

$$\bar{\tau}_r = 1 - T_o / \bar{T}_r, \bar{\tau}_x = 1 - T_o / \bar{T}_x, \quad (18)$$

где $\bar{T}_r$, $\bar{T}_x$ - средние температуры горячего и холодного теплоносителей; T_o - температура окружающей среды.

Для адиабатного теплоизолированного теплообменника справедливо уравнение теплового баланса

$$G_1 c_1 \Delta T_1 = G_2 c_2 \Delta T_2, \quad (19)$$

где $G_1 c_1$ и $G_2 c_2$ - тепловые эквиваленты теплоносителей; ΔT_1 , ΔT_2 - средние разности температур теплоносителей в процессе.

Эксергетический КПД теплообменника[10]

$$\eta_e = \frac{G_x c_x \Delta T_x}{G_r c_r \Delta T_r}, \quad (20)$$

где G_x , G_r - расходы холодного и греющего теплоносителя, кг/с; c_x , c_r - средние теплоемкости холодного и греющего теплоносителя, Дж/(кг·К); ΔT_x , ΔT_r - средние разности температур теплоносителей в процессе, К.

Средняя разность температур определяется по формулам[11]:

$$\Delta T_x = \left(1 - \frac{\tau_o}{\tau_x} \right), \quad (21)$$

$$\Delta T_r = \left(1 - \frac{\tau_o}{\tau_r} \right), \quad (22)$$

где T_o - температура окружающей среды ($T_o = \text{const}$), К; T_x , T_r - средние температуры холодного и горячего теплоносителей, К.

Таким образом, получим

$$\eta_e = \frac{G_x c_x T_r (\tau_x - \tau_o)}{G_r c_r T_x (\tau_r - \tau_o)}. \quad (23)$$

Эксергетический КПД теплообмена при отсутствии потерь эксергии, обусловленных гидравлическим сопротивлением аппарата, определяется отношением средних эксергетических температур теплоносителей. Учитывая пропорциональную зависимость между этими параметрами, можно выбрать температурный режим процесса в зависимости от допустимых эксергетических потерь.

ВЫВОДЫ

Наряду с увеличением выпара растет количество пара и температурный напор на верхних ступенях, одновременно растет коэффициент теплоотдачи от пара к воде, при этом выпар влияет на недогрев воды, а изменение расхода выпара служит способом регулирования работы деаэрационной колонки. Выявлено, что эксергетический КПД теплообмена при отсутствии потерь эксергии, обусловленных гидравлическим сопротивлением аппарата, определяется отношением средних эксергетических температур теплоносителей, что позволило, учитывая пропорциональную зависимость между этими параметрами, осуществить выбор температурного режима процесса в зависимости от допустимых эксергетических потерь.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брагинский Л.Н., Евилевич М.А., Бегачев В.И. и др. Моделирование аэрационных сооружений для очистки сточных вод. Л.: Химия. 1982. 48 с.
2. Труб И.А., Литвин О.П. Вакуумные деаэратеры. М.: Энергия. 1967. 100с.
3. Олиker И.И., Пермяков В.А. Термическая деаэрация воды на тепловых электростанциях. Д.: Энергия. 1971. 185 с.
4. Гиммельберг А.С., Григорьев Г.В., Михайлов В.Г., Егоров П.В., Шилова Н.Е. Новые термические деаэратеры для ТЭС и котельных // Сборник докладов научно-практического семинара «Ресурс и надежность тепломеханического оборудования энергетических и промышленных предприятий». 2006. № 2. С.85-89.
5. Золотова Е.Ф., Асс Г.Ю. Очистка воды от железа, марганца, фтора и сероводорода. М.: Стройиздат. 1975. 176 с.
6. Тимонин А.С. Инженерно-экологический справочник. Т. 2. Калуга: Издательство Н. Бочкаревой. 2003. 884 с.
7. Дихтьяр Т.В. Определение состава газа от различных промышленных и бытовых объектов // Строительство и техногенная безопасность. Научно-технический журнал по строительству и архитектуре. Симферополь: 2017. № 7(59). С. 89-93.
8. Кирш А.К., Лагун В.П., Симою Л.Л., Нахман О.В. и др. Деаэрация в конденсаторах паровых турбин // "Теплоэнергетика". 1977 № 10. С. 12-15.
9. Галустов В. С. Термическая деаэрация воды // Энергия и менеджмент. 2004. № 1. С. 17-19.
10. Берман С.С. Теплообменные аппараты и конденсационные устройства турбоустановок. М.: Машгиз. 1959. 423 с.
11. Клыков М.В. Методические указания к лабораторной работе "Эксергетический анализ процесса теплообмена в теплообменнике типа "труба в трубе"" по дисциплине «Теоретические основы энерго- и ресурсосбережения в химической технологии». Салават: УГНТУ. 2006. 14 с.
12. Георгиевский Н.В. Котлы для сжигания сероводорода: особенности конструирования и критерии выбора // Индустрия. 2011. № 2. С. 84-89.

seminar "Resource and reliability of thermal mechanical equipment of energy and industrial enterprises". 2006. No. 2. pp.85-89.

5. Zolotova E.F., Ass G.Yu. Purification of water from iron, manganese, fluorine and hydrogen sulfide. Moscow: Stroyizdat. 1975. 176 p.

6. Timonin A.S. Engineering and Environmental handbook. Vol. 2. Kaluga: N. Bochkareva Publishing House. 2003. 884 p.

7. Dikhtyar T.V. Determination of gas composition from various industrial and domestic facilities // Construction and technogenic safety. Scientific and Technical Journal on Construction and Architecture. Simferopol: 2017. No. 7(59). pp. 89-93.

8. Kirsh A.K., Lagun V.P., Simoy L.L., Nachman O.V. et al. Deaeration in steam turbine condensers // "Teploenergetika". 1977 No. 10. pp. 12-15.

9. Galustov V. S. Thermal deaeration of water // Energy and Management. 2004. No. 1. pp. 17-19.

10. Berman S.S. Heat exchangers and condensing devices of turbine installations. Moscow: Mashgiz. 1959. 423 p.

11. Klykov M.V. Methodological guidelines for the laboratory work "Exergetic analysis of the heat exchange process in a pipe-in-pipe heat exchanger" in the discipline "Theoretical foundations of energy and resource conservation in chemical technology". Salavat: UGNTU. 2006. 14 p.

12. Georgievsky N.V. Boilers for burning hydrogen sulfide: design features and selection criteria // Industry. 2011. № 2. pp. 84-89.

REFERENCES

1. Braginsky L.N., Evilevich M.A., Begachev V.I. and others. Modeling of aeration facilities for wastewater treatment. L.: Chemistry. 1982. 48 p.
2. Trub I.A., Litvin O.P. Vacuum deaerators. Moscow: Energiya. 1967. 100p.
3. Olikier I.I., Permyakov V.A. Thermal deaeration of water at thermal power plants. D.: Energiya. 1971. 185 p.
4. Himmelberg A.S., Grigoriev G.V., Mikhailov V.G., Egorov P.V., Shilova N.E. New thermal deaerators for thermal power plants and boiler houses // Collection of reports of the scientific and practical

INVESTIGATION OF THERMAL DEAERATION PROCESSES WHEN WATER TEMPERATURE CHANGES

Dikhtyar T.V.

V.I. Vernadsky Crimean Federal University,
Institute "Academy of Construction and Architecture",
295943, Simferopol, Kievskaya str., 181, e-mail: ta_titova@mail.ru

Abstract. The existing methods of water deaeration are divided into physical and chemical. The essence of physical deaeration methods is as follows: water containing the gas to be removed is brought into contact with air if the partial pressure of this gas in the air is close to zero; conditions are created under which the solubility of the gas in water becomes negligible. With the first method of water aeration, free carbon dioxide and hydrogen sulfide are usually removed, since the partial pressure of these gases in the atmospheric air is close to zero. The second method is used when extracting oxygen from water. In this case, due to the significant partial pressure of oxygen in the atmospheric air, oxygen cannot be removed by aeration of water, so the water is brought to a boil, then the solubility of all gases in it drops to zero. To do this, either heating the water or lowering the pressure to a value at which the water boils without additional heating in vacuum deaerators is used. In a vacuum deaerator, most of the gases are released from the water in the form of bubbles that reach the surface of the water. The purpose of this work is to determine the evaporation rate, which is formed as a result of heat treatment of water in a vacuum deaerator. The deaeration process is physically independent of the absolute pressure. Zero solubility of gases can be achieved at any boiling point, and therefore at a boiling point below 100 ° C, so that water deaeration can be carried out at a pressure below atmospheric pressure. The evaporation rate as a result of water treatment in a vacuum deaerator has been determined.

Subject: mass transfer processes in heat flows.

Materials and methods: mathematical methods of physical and numerical modeling.

Results: as a result of the research, dependences were obtained that make it possible to establish a relationship between the consumption of steam and deaerated water.

Conclusions: the ratio for determining the evaporation rate during the deaeration process has been clarified.

Key words: thermal deaeration, gas concentration, gas solubility coefficient, enthalpy, evaporation, vacuum.