

новок с целью определения доли работы и эффективности использования различных криогенных веществ (в данном случае СПГ).

Для этого вводятся следующие оценивающие параметры:

Термический КПД – показывает эффективность преобразования теплоты в работу цикла:

$$\eta_{\text{Терм}} = \frac{N_{\text{сумм}}}{Q_{\text{сумм}}},$$

где $N_{\text{сумм}}$ – суммарная мощность всей установки, $Q_{\text{сумм}}$ – суммарная теплота.

Эксергетический КПД – показывает эффективность использования энергии:

$$\eta_{\text{Экс}} = \frac{N_{\text{сумм}}}{E_{\text{сумм экс}}},$$

где $E_{\text{сумм экс}}$ – суммарная эксергия установки.

КПД Карно – максимальный КПД в заданном диапазоне температур:

$$\eta_{\text{Карно}} = 1 - \frac{T_1}{T_2},$$

где T_1 и T_2 – значение самой низкой и самой высокой температур.

Удельная работа СПГ – показывает объём работы криогенного вещества (СПГ) от всей работы установки:

$$l_{\text{СПГ}} = \frac{N_{\text{сумм}}}{G_{\text{СПГ}}} * \left(\frac{E_{\text{СПГ}}}{E_{\text{сумм экс}}} \right),$$

где $G_{\text{СПГ}}$ – расход СПГ в данной установке, $E_{\text{СПГ}}$ – эксергия СПГ.

Расчёт оцениваемых параметров и дальнейшая их оценка проводились на основе данных полученных из массива статей.

Из полученных значений были построены и проанализированы точечные диаграммы зависимостей термического и эксергетического КПД и удельной работы СПГ от КПД Карно. КПД Цикла Карно показывает предельную эффективность цикла в зависимости от температурного уровня. Очевидно, что при большем значении предельного КПД значение термического КПД скорее всего будет больше. Однако величина удельной работы СПГ не зависит от верхнего уровня температур. Соответственно, ожидается, что функции $\text{КПД}_{\text{Терм}}=f(\text{КПД}_{\text{Карно}})$ и $\text{КПД}_{\text{Экс}}=f(\text{КПД}_{\text{Карно}})$ будут иметь вид наклонной прямой, а $l_{\text{СПГ}}=f(\text{КПД}_{\text{Карно}})$ – горизонтальной прямой.

На основе полученных значений в данном анализе можно сделать выводы об особенностях работы каждой исследуемой схемы, совершенстве преобразования энергии и эффективность её использования.

Также можно сделать выводы о доле работы криогенных веществ в каждой схеме и эффективность преобразования энергии этих веществ в работу установки.

Из анализа видно, что наибольшее значение удельной энергии СПГ достигается либо в случаях высокого термического КПД и высокой общей эффективности системы, либо в случаях когда СПГ является единственным рабочим телом, а его энергия утилизируется в высокоэффективном цикле с термокомпримированием.

УДК 628.165

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТРЕБНОЙ МОЩНОСТИ ТРУБЧАТОГО ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЯ ДЛЯ ДИСТИЛЛЯЦИОННОЙ ОПРЕСНИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

© 2018 Е.В. Благин, А.А. Горшкалёв, А.А. Шиманов

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

DETERMINATION OF THE REQUIRED POWER OF TUBE ELECTRIC HEATER FOR DISTILLATION DESALINATION PLANT

Blagin E.V., Gorshkalev A.A., Shimanov A.A. (Samara National Research University, Samara,
Russian Federation)

Tube electric heater is required for distillation process because it prepares input water for working process on the start regime of the desalination plant. Depending on its power, time consumed for start regime will vary. Correspondingly, selection of the power for tube electric heater depends on amount of water inside, mass-dimensional characteristics of the desalination plant and heat transfer with the environment. Algorithm for power selection is developed.

Одной из основных проблем человечества становится проблема получения пригодной для питья пресной воды. Растущий мировой дефицит пресной воды может быть скомпенсирован опреснением солёных (солеосодержание более 10 г/л) и солоноватых (2–10 г/л) океанических, морских и подземных вод, запасы которых составляют 98% всей воды на земном шаре.

Дистилляция, или термическое опреснение, — наиболее распространённый способ получения пресной воды из морской. Как известно, морская вода представляет собой раствор, состоящий из воды – летучего растворителя и солей – нелетучего растворённого в воде твердого вещества. Сущность дистилляции заключается в том, что морскую воду нагревают до кипения и выходящий пар собирают и конденсируют. Образуется пресная вода, называемая дистиллятом. Выпаривать воду можно как при кипении, так и без кипения. В последнем случае морскую воду нагревают при более высоком давлении, чем давление в камере испарения, куда направляется вода. Так как при этом температура воды превышает температуру насыщения, соответствующую давлению в камере испарения, то часть поступившей воды превращается в пар, который и конденсируется в дистиллят. Для парообразования используется теплота, содержащаяся в самой испаряемой воде, которая при этом охлаждается до температуры насыщения оставшегося рассола. Основное термодинамическое различие между процессами заключается в следующем: при кипящем процессе теплота подводится от внешнего источника и поддерживает температуру насыщения при данном постоянном давлении в испарителе, т.е. процесс является изотермическим; при процессе без кипения теплота подводится к морской воде без кипения до температуры выше температуры насыщения, соответствующей давлению в испарителе, и, следовательно, процесс испарения идет за счёт внутренней теплоты и является адиабатным.

Основной задачей трубчатого электронагревателя (ТЭН) является нагрев исходной воды до температуры кипения на режиме запуска дистилляционной опреснительной установки (ДОУ). Мощность ТЭН будет влиять

на скорость нагрева и, соответственно, на скорость выхода на режим.

В простейшем случае скорость выхода на режим, пренебрегая зависимостью теплоёмкости воды от температуры, можно вычислить следующим образом:

$$\tau = \frac{c_{ж} m_{ж} (t_{вк} - t_{вн})}{Q_{ТЭН}}$$

Однако определение потребной мощности по данной формуле будет связано со значительными неточностями (погрешность более 50%), так как при подобном расчёте не учитывается перенос тепла от воды к стенкам и трубкам испарителя-конденсатора. Сама конструкция испарителя-конденсатора обладает значительной собственной теплоёмкостью (соизмеримой с теплоёмкостью воды в нём), поэтому перенос тепла необходимо учитывать при определении потребной мощности ТЭН.

В таком случае механизм переноса тепла будет содержать в себе три основных уравнения:

$$\begin{cases} dt_{г} = \frac{Q_{мэн} - Q_{см}}{m_{ж} c_{ж}} d\tau; \\ Q_{см} = \alpha F (t_{г} - t_{см}); \\ dt_{см} = \frac{Q_{см}}{m_{см} c_{см}} d\tau. \end{cases}$$

Решением данного уравнения будет выражение вида

$$Q_{см} = -\frac{Z}{Y} e^{-Y\tau} + \frac{Z}{Y},$$

где

$$Y = \alpha F \left(\frac{1}{m_{ж} c_{ж}} + \frac{1}{m_{см} c_{см}} \right);$$

$$Z = \frac{\alpha F Q_{мэн}}{m_{ж} c_{ж}}$$

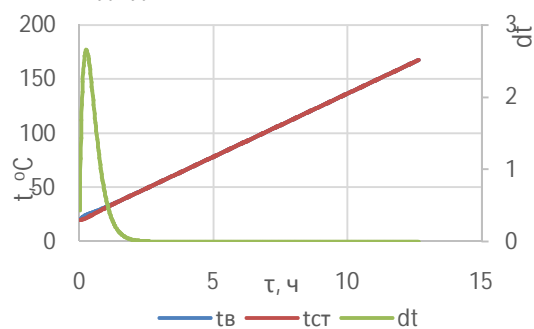


Рис.1. Зависимость температур воды и стенок, а также разницы температур между ними от времени

Из выражений получена зависимость температуры воды в испарителе-конденсаторе и температуры самого испарителя-конденсатора, а также разницы между ними от времени при 6 нагревателях мощностью 4 кВт каждый (рис. 1).

По графику видно, что наибольшая разница температур между водой и стенкой

наблюдается в первые два часа после включения установки, а спустя 2,5 часа температуры выравниваются и разница между ними становится практически незаметной. Согласно техническому заданию выходом на режим считается достижение температурой воды уровня в 70 градусов. Это происходит спустя 4,27 часа после включения установки.

УДК 628.165

ВЫРАБОТКА КРИТЕРИЕВ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ОПРЕСНИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

© 2018 Е.В. Благин, А.А. Горшкалёв, А.А. Шиманов

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

DETERMINATION OF THE CRITERIA FOR COMPARATIVE ANALYSIS OF DESALINATION PLANT

Blagin E.V., Gorshkalev A.A., Shimanov A.A. (Samara National Research University, Samara, Russian Federation)

Comparative analysis of distillation desalination plant requires certain criteria. This criterion must take into account both energy consumption and seawater salinity. Relation of the minimal work required for seawater desalination to energy consumption was selected as such criterion.

Корректная оценка эффективности установок, предназначенных для опреснений морской воды, требует комплексного учёта факторов, от которых зависят энергопотребление установки и качества выходящей воды.

Например, наиболее простой и понятный показатель – коэффициент преобразования, показывающий отношение расхода выходящей пресной воды к расходу исходной воды, не учитывает ни энергозатраты установки, ни такие характеристики исходной воды, как солёность и температура. Данный показатель может использоваться лишь для оценочных расчётов или сравнительного анализа установок с одинаковым энергопотреблением.

$$\tau = \frac{G_d}{G_{исх}},$$

где G_d – расход дистиллята на выходе, $G_{исх}$ – расход исходной воды.

Действительную эффективность установки можно определить по аналогии с эффективностью компрессора, где минимальная работа, с помощью которой можно повысить давление рабочего тела, относится к

работе, соответствующей данному компрессору. Тогда в данном случае эффективность опреснительной установки будет определяться как отношение минимальной работы опреснения L_{min} к энергозатратам данной установки.

Если посчитать энергозатраты установки не составляет особого труда (приводы компрессоров и насосов, подведенное тепло (в случае наличия такого), в случае отличия температуры исходной воды от температуры окружающей среды – эксергия исходной воды), то определение минимальной работы требует определенного предварительного термодинамического анализа.

Процесс засоления (растворения) протекает с ростом энтропии. Обратный процесс опреснения связан с безвозвратной затратой эксергетически ценной энергии.

При обратимом разделении раствора на пресную воду и рассол затрата работы будет минимально необходимой $L_{мин}$. Независимо от вида технического устройства и метода опреснения $L_{мин}$ определяется только начальным и конечным состояниями вещества, участвующего в процессе разделения, и па-