

УДК 621.574.013

## АБСОРБЦИОННЫЕ ХОЛОДИЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ. ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ АБСОРБЦИОННЫХ И КОМПРЕССИОННЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Кацубо В.В., Скицунова И.А.

Научный руководитель - старший преподаватель Космачёва Э.М.

При проектировании систем хладоснабжения тип холодильной установки выбирается на основе технико-экономических расчетов. Поскольку основной статьей эксплуатационных расходов для холодильных машин всех типов являются затраты на энергию, методика сравнения энергетической эффективности различных типов холодильных установок представляет интерес.

В компрессионных и абсорбционных холодильных машинах используются различные виды энергии: в компрессионных – электрическая, абсорбционные потребляют энергию в виде теплоты, причем в последнем случае могут использоваться так называемые вторичные тепловые ресурсы.

АХУ, принципиальная схема которой представлена на рисунке 1, работает следующим образом. К ректификационной колонне Iб из абсорбера IX насосом X через теплообменник VII подводится крепкий раствор давлением  $p_K$ , т.е. раствор повышенной концентрации в состоянии 15, представляющий собой смесь хладагента (аммиака) и абсорбента (воды) с концентрацией  $\xi_{кр}$ . Этот раствор проходит через ректификационную колонну. При этом из состояния 15 крепкий раствор нагревается до температуры кипения, соответствующей  $\xi_{кр}$  (точка 8) и образуются пары, равновесное состояние которых характеризуется точкой 1. Обогащенные летучим (аммиаком) пары движутся по колонне вверх, а обедненная жидкость стекает вниз в генератор Ia (состояние 9). Изменение состояния раствора в ректификационной колонне и генераторе изображено на  $i, \xi$  - диаграмме линией 15-8-9, в том числе 15-8 – подогрев крепкого раствора до кипения при постоянной  $\xi_{кр}$ , а 8-9 – изменение состояния кипящего раствора за счет уменьшения его концентрации от  $\xi_{кр}$  до  $\xi_{сл}$ .

Для обогащения паров летучим компонентом в колонну необходимо возвращать флегму, которая образуется при конденсации паров, выходящих из колонны, в дефлегматоре за счет отвода теплоты с охлаждающей водой. В результате после колонны и дефлегматора концентрация паров значительно повышается. Довести концентрацию до единицы, т.е. получить после дефлегматора идеально чистый пар аммиака теоретически невозможно, т.к. для этой цели пришлось бы сконденсировать в дефлегматоре весь пар (флегмовое число  $R \rightarrow \infty$ ). Поэтому концентрацию пара доводят до значения, отличающегося от единицы на доли процента. Процесс обогащения паров в колонне изображен кривой 1-2 на  $i, \xi$  - диаграмме (рисунок 1).

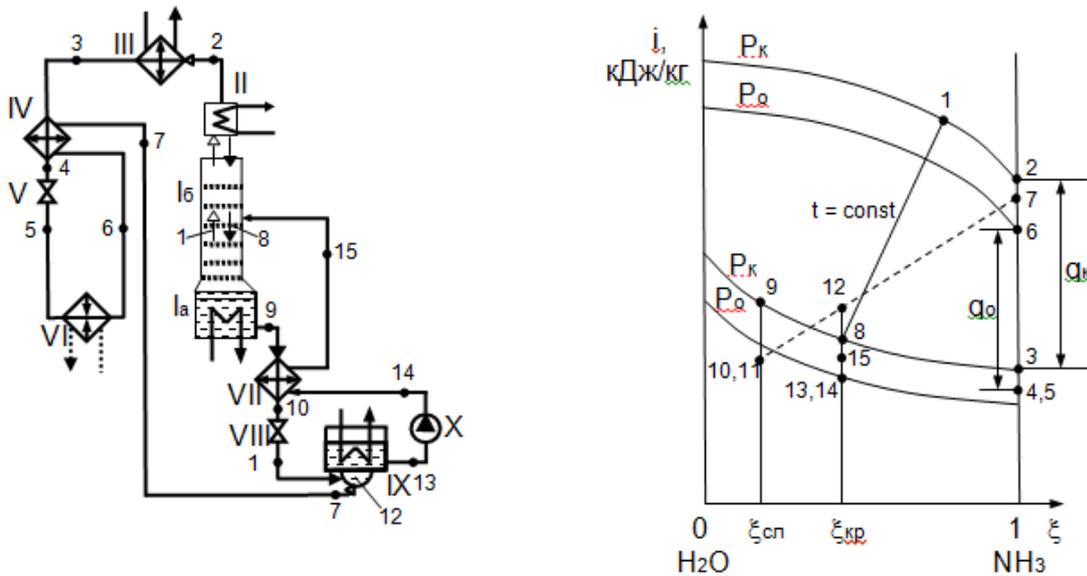
Генератор, ректификационная колонна и дефлегматор обычно компонуются вместе таким образом, чтобы обеспечить естественное движение паров вверх, а флегмы и крепкого раствора – вниз.

После дефлегматора пар аммиака поступает в конденсатор III – процесс 2-3, затем в охладитель, где дополнительно охлаждается парами хладагента из испарителя – процесс 3-4. Далее жидкий хладагент дросселируется в V ( $i = \text{const}$ ,  $\xi = 1 = \text{const}$ , поэтому точки 4 и 5 совпадают). Но эти состояния относятся к разным давлениям: точка 4 к  $p_K$ , а точка 5 к  $p_0$ . Т.е. в точке 4 - охлажденная жидкость (ниже пограничной кривой  $p_K$ ), а в точке 5 - влажный насыщенный пар (т.к. выше пограничной кривой  $p_0$ ).

После дроссельного вентиля хладагент поступает в испаритель VI, где в результате подвода теплоты извне он кипит и превращается в сухой насыщенный пар (процесс 5-6). Затем пары хладагента поступают в охладитель, где перегреваются, охлаждая жидкий

хладагент (процесс 6-7) и направляются в абсорбер IX. Там происходит смешение паров аммиака со слабым раствором (кубовым остатком), который перед этим охлаждается в VII (процесс 9-10 при  $\xi_{сл} = const$ ) и дросселируется в VIII (процесс 10-11 при  $i = const$  и  $\xi_{сл} = const$ , т.е. точки 10 и 11 совпадают). Итак, в абсорбере смешивается пар с состоянием в точке 7 и жидкость в точке 11. При адиабатном смешении состояние смеси на диаграмме определяется как точка пересечения прямой, соединяющей исходные состояния (на рисунке 1) с ординатой, соответствующей концентрации полученной смеси ( $\xi_{кр}$ ). Т.е. на пересечении прямой 7-11 с ординатой  $\xi_{кр}$  получена точка 12, которая при давлении  $p_0$  оказалась выше нижней пограничной кривой, следовательно, смесь в этом состоянии – влажный пар. Для превращения важного насыщенного пара в жидкий крепкий раствор из абсорбера отводится тепло, что изображается прямой 12-13. Далее крепкий раствор насосом X подается через теплообменник VII в ректификационную колонну. Т.к. в насосе  $i \approx const$  и  $\xi_{кр} = const$ , то точки 13 и 14 совпадают. Процесс подогрева крепкого раствора в теплообменнике VII 14-15.

Применение теплообменника позволяет снизить удельный подвод теплоты в генераторе и удельный отвод теплоты из абсорбера. Следовательно, чем полнее осуществляется передача энергии в этом теплообменнике, тем экономически выгоднее. Однако температура крепкого раствора после теплообменника не должна превышать температуру его кипения при давлении в генераторе, т.е. энтальпия точки 15 не должна превышать энтальпию точки 8, т.е.  $i_{15} \leq i_8$  или  $t_{15} \leq t_8$ .



Ia – генератор, Ib – ректификационная колонна, II – дефлегматор, III – конденсатор, IV – охладитель, V, VIII – дроссельный вентиль, VI – испаритель, VII – теплообменник, IX – абсорбер, X – насос

Рисунок 1. Принципиальная схема и процесс работы абсорбционной холодильной установки

Тепловой баланс установки:

$$q_{подв} = q_{отв},$$

$$q_{подв} = q_2 + q_0,$$

$$q_{отв} = q_a + q_k + q_d.$$

Расход ХА (аммиака):

$$G = \frac{Q_0}{q_0}, \quad \frac{кг}{с}$$

Тепловая нагрузка:

генератора  $Q_T = G \cdot q_T$ , абсорбера  $Q_A = G \cdot q_A$ , конденсатора  $Q_K = G \cdot q_K$ ,  
дефлегматора  $Q_D = G \cdot q_D$ , теплообменника  $Q_{TO} = G \cdot q_{TO}$ .

Холодильный коэффициент:

$$\varepsilon = \frac{q_0}{q_2}$$

При сравнении КХУ и АХУ используется понятие условное топливо. Энергетическим показателем любой холодильной установки является холодильный коэффициент  $\varepsilon$ : отношение полезного эффекта (количество выработанного холода  $Q_0$ ) к затраченной энергии. Для компрессионной холодильной установки (КХУ)  $\varepsilon_K = \frac{Q_0}{N_K}$ , где  $N_K$  - мощность привода компрессора.

Энергетическая целесообразность сравниваемых типов холодильных установок в значительной мере зависит от удельных расходов топлива на выработку теплоты  $b_T$  и электроэнергии  $b_э$ . Причем  $b_э$  является сравнительно стабильной величиной, а  $b_T$  может изменяться в достаточно широком диапазоне в зависимости от источника выработки теплоты (котельная, ТЭЦ). В случае если источником теплоты является ТЭЦ, то  $b_T$  определяется параметрами свежего пара и пара в отборе турбин.

Так, если для заданных условий работы в компрессионной установке получен холодильный коэффициент  $\varepsilon_K = 4$ , то равноэкономичная ей по расходу топлива абсорбционная установка должна иметь следующие холодильные коэффициенты: при теплоснабжении от котельной  $\varepsilon_A = 1,7$ , при теплоснабжении от ТЭЦ с начальными параметрами пара 13 МПа, 555 °С и использовании пара из отбора давлением 0,1 МПа  $\varepsilon_A = 0,68$ .

При использовании в качестве источника теплоты вторичных энергетических ресурсов промышленного предприятия абсорбционная холодильная установка становится энергетически целесообразной даже при весьма малых значениях холодильного коэффициента.

### Литература

1. Холодильные и воздухоразделительные установки: учеб. - метод. комплекс/ Э.М. Космачёва.- Минск,2018.-147с.