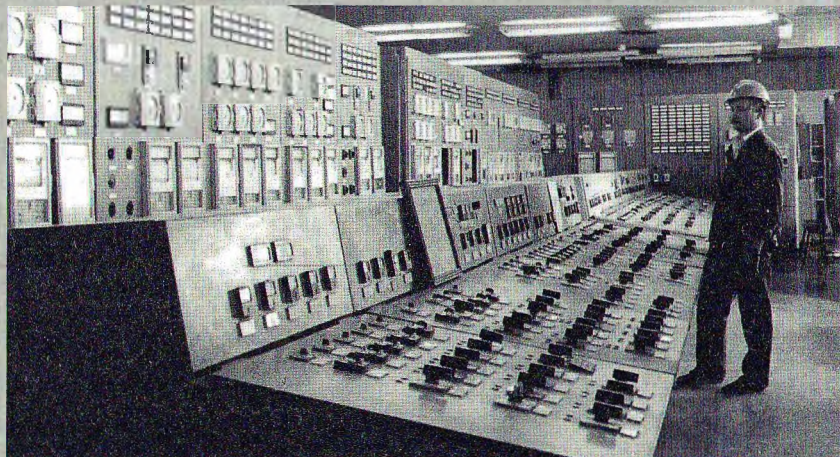


Технико-экономическая оценка утилизации низкопотенциального тепла РЕКТИФИКАЦИОННЫХ УСТАНОВОК



Широко применяемым на практике способом снижения энергопотребления многоколонных ректификационных установок, работающих при различных давлениях, является использование тепла дистиллята и флегмы высокотемпературных колонн для нагрева кубовой жидкости низкотемпературных (вакуумных) колонн. Положительный эффект достигается не только за счет сокращения потребления тепла извне, но и хладагента. С другой стороны, осуществление такого процесса сопровождается увеличением капитальных затрат на дополнительные поверхности теплообмена, коммуникации, насосы и т.д. При этом основную долю капитальных затрат составляет стоимость теплообменных аппаратов, которая, в свою очередь, примерно пропорциональна их поверхности. Поверхность теплообменника F , m^2 , определяется из основного уравнения теплопередачи:

$$F = Q / (k \cdot \Delta T), \quad (1)$$

где Q — тепловая нагрузка, Вт; k — коэффициент теплопередачи, $Вт/(m^2 \cdot K)$; ΔT — разность температур, K .

Для теплообмена при фазовых переходах (конденсация-кипение), если обе среды — органические вещества, коэффициент теплопередачи, с достаточной для оценочных расчетов точностью, может быть вычислен по уравнению:

$$k = 1,77 \Delta T^{1,55}. \quad (2)$$

Из (1) и (2) следует, что экономические показатели при утилизации тепла паров органических жидкостей сильно зависят от ΔT , т.к. поверхность теплообмена пропорциональна $1/\Delta T^{2,55}$.

Ориентировочные расчеты, проведенные для ректификационных установок разделения продуктов окисления циклогексана в производстве капролактама, показывают, что получение гарантированного экономического эффекта возможно при разности температур между парами дистиллята в высокотемпературной колонне и кипящим кубовым остатком в низкотемпературной, ΔT , свыше 22 K . При $\Delta T < 22 K$ применение схемы утилизации тепла с использованием конденсатора-испарителя без дополнительных устройств, интенсифицирующих теплообмен, приводит к значительному увеличению его поверхности, а, следовательно, к существенно-му росту капитальных затрат.

Для утилизации низкопотенциального тепла ($\Delta T < 22 K$) была предложена схема с интенсификацией теплообмена за счет ввода острого пара в кипящую кубовую жидкость в конденсаторе-испарителе (а.с. 1386217, СССР). Увеличение коэффициента теплоотдачи для кипящей кубовой жидкости вызывает рост коэффициента теплопередачи, снижая требуемую поверхность теплообменника. Однако наличие дополнительной линии острого пара с испарителем и перегревателем увеличивает капитальные затраты. Поэтому целесообразность применения такой схемы может быть определена лишь в результате точного технико-экономического анализа.

Условием максимальной эффективности реконструкции является достижение минимума приведенных затрат Π , руб./год:

$$\Pi = K_3 \cdot E + 33 \cdot \min, \quad (3)$$

где K_3 — капитальные затраты, руб.; E — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, $год^{-1}$; 33 — эксплуатационные затраты, руб./год.

В рассматриваемом случае в качестве критерия эффективности производимых затрат следует принять величину дополнительных приведенных затрат $\Delta \Pi$, руб./год. Величина их зависит от затрат на приобретение, доставку и монтаж вновь устанавливаемого оборудования, затрат связанных с его эксплуатацией, а также от достигаемой в результате реконструкции экономии теплоносителей. Затраты на текущее обслуживание и ремонт вновь устанавливаемого оборудования примерно пропорциональны капитальным вложениям, поэтому в нижеприведенной зависимости они учитываются в величине дополнительных капитальных затрат.

$$\Delta \Pi = K_{31} \cdot E + 3_{эл} - 3_{г} - 3_{х}, \quad (4)$$

где K_{31} — капитальные затраты с учетом обслуживания и ремонта, руб.; $3_{эл}$ — дополнительные затраты на электроэнергию для приводов насосов, руб./год; $3_{г}$, $3_{х}$ — экономии греющего пара и хладагента, соответственно, руб./год.

Уравнение (4), преобразованное для расчета дополнительных приведенных затрат на единицу утилизируемого тепла $\Delta \Pi_T$, руб./Дж, принимает вид:

$$\Delta \Pi_T = -\Pi_{т3} - \frac{\Pi_B \cdot 10^6}{c_B \cdot \Delta t_B} + \frac{2,78 \cdot 10^5}{Q_{ут}} \left(\frac{K_{31} \cdot E}{\tau} + N \cdot \Pi_{эл} \right), \quad (5)$$

где Π_B — цена хладагента (воды) в дефлегматоре, руб./ m^3 ; c_B — теплоемкость воды, $Дж/(кг \cdot K)$; Δt_B — изменение температуры воды в дефлегматоре, K ; $Q_{ут}$ — утилизируемая тепловая мощность, Вт; τ — годовой ресурс работы установки, час/год; N — мощность насосной установки, кВт; $3_{эл}$ — цена электроэнергии, руб./ $(кВт \cdot ч)$.

Приняв $c_B = 4190 \text{ Дж}/(кг \cdot K)$, $E = 0,15 \text{ год}^{-1}$, $\tau = 8000 \text{ час/год}$, а также для условий Беларуси $\Delta t_B = 20 K$, зависимость (5) преобразуем к следующему виду:

$$\Delta \Pi_T = -\Pi_{т3} - 12 \cdot \Pi_B + \frac{1}{Q_{ут}} (5,21 \cdot K_{31} + 2,78 \cdot 10^5 \cdot N \cdot \Pi_{эл}), \quad (6)$$

Капитальные вложения будут целесообразными при отрицательном $\Delta \Pi$ ($\Delta \Pi_T$). Используя уравнение (6), можно определить $\Delta \Pi_T$ для ректификационной установки без интенсификации теплообмена и установки с вводом острого пара. Проведя параллельные расчеты $\Delta \Pi_T$ при различных ΔT , можно определить температурный диапазон, в котором целесообразно использование острого пара для более эффективной утилизации низкопотенциального тепла. Для каждой конкретной установки существует критическое значение ΔT , ниже которого утилизация тепла с использованием интенсифицирующего фактора — острого пара экономически целесообразна. Вариант с минимальным значением $\Delta \Pi_T$ будет соответствовать оптимальному решению.