

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ НА ЭНЕРГОСЫРЬЕВОЙ КПД ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ АВТ

Белоусов А.А. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса)

Приведены результаты исследования потерь энергии в тепловых процессах от загрязнения теплообменных поверхностей при эксплуатации технологической установки, а также потери энергии в процессах при подготовке теплообменных аппаратов к ремонту.

Основные процессы в нефтепереработке основаны на законах гидромеханики, теплопередачи, массопередачи, химической кинетики, механики твердых тел. Эти процессы подразделяются на гидромеханические, массообменные (диффузионные процессы), химические, механические и тепловые.

Исходя из цели исследования анализа снижения энергетических потерь на энергосырьевой КПД технологической установки АВТ, выбраны для исследования те процессы, которые имеют наибольшее влияние на энергетический КПД установки.

В этой связи поставленная задача по исследованию влияния энергетических потерь на КПД технологической установки включает:

- анализ потери энергии в тепловых процессах от загрязнения теплообменных поверхностей при эксплуатации технологической установки;
- анализ потери энергии в процессах при подготовке оборудования (теплообменных аппаратов) к ремонту, после вывода установки из эксплуатации.

Для анализа надо составить энергосырьевой баланс технологической установки. Баланс составляется на базе энергии сырья и первичного топлива [1].

$$G_c E_c + B E_T + \sum b_{\varepsilon} Q_T^H \pm Q_{мен} b_{мен} Q_T^H = \sum G_i E_i + \sum G_j E_j + Q_{ном}$$

или

$$G_c E_c + B Q_T^H + \sum \varepsilon / \eta_{\varepsilon} \pm Q_{мен} / \eta_{мен} = \sum G_i E_i + \sum G_j E_j + Q_{ном}$$

где G_c и B – расход сырья и топлива; G_i – выход нефтепродуктов нефтепереработки; G_j – потери нефтепродуктов; $Q_{мен}$ – подведенная (+) или отведенная (-) тепловая энергия; \mathcal{E} – подведенная электроэнергия; $Q_{пот}$ – потери, учитывающие отвод тепла при выработке электрической энергии; b_3 и $b_{мен}$ – удельный расход топлива на выработку электрической и тепловой энергии; $\eta_{\mathcal{E}}$, $\eta_{мен}$ – КПД получения электрической и тепловой энергии.

Баланс составлен на основе полной энергии подводимых на установку потоков $E = Q_H^P + i$, являющейся суммой низшей теплотворной способности вещества Q_H^P и энтальпии потока. Принимаем, что энтальпия потока $i = 0$

За критерий эффективности технологической установки принимается энергосырьевой КПД, то есть отношение энергии полученных продуктов к суммарной затраченной энергии.

$$\eta_{\text{эс}} = \frac{\sum G_i E_i}{G_c E_c + B Q_H^P \pm Q_{мен} / \eta_{мен} + \mathcal{E} / \eta_{\mathcal{E}} - \sum G_{ni} E_{ni}}$$

где G_i – выход продуктов нефтепереработки; E_i – подведенная энергия потока; $\sum G_{ni} E_{ni}$ – суммарная энергия побочных продуктов.

Расчет баланса потоков энергии на технологической установке АВТ

Рассматривается вариант установки АВТ с исходными данными и технико-экономическими показателями (табл. 1)

Производительность установки $G_n = 100$ т/ч;

Количество часов работы 7920 ч/год;

Годовая переработка 792000 т/год.

Технико-экономические показатели установки АВТ

Таблица 1

Показатели на 1 т нефти	Ед. изм.	Величина
Топливо жидкое	кг	30,49
Электроэнергия	10^6 дж	7,47
Водяной пар	млн Кдж	0,365
Эксплуатационные расходы	грн/год	0,792
Капитальные затраты	грн	1,39

Определение затраченной энергии потоков на установке можно выполнить в соответствии с уравнением:

$$W_{3.3} = G_c E_c + B Q_H^P + Q_{мен} / \eta_{мен} + \mathcal{E} / \eta_{э}$$

Для сопоставления энергетических потерь, имеющих основное влияние на энергосырьевой КПД технологической установки, КПД, учитывающий необратимые потери тепла в тепловых процессах и передаче электроэнергии, $\eta_{мен}, \eta_{э}$ опускаются, тогда:

$$W_{3.3} = G_c E_c + B Q_H^P + Q_{мен} + \mathcal{E}$$

Для возможности учета энергии сырьевого потока, вносимого топлива и затраченной электроэнергии выразим эти виды энергии через теплоту сгорания условного топлива.

Выполняем анализ $W_{3.3}$ на одну тонну нефти. Тогда с учетом $Q_H^P = 40259 \text{ кДж/кг}$, $Q_{у.т} = 7000 \cdot 4,19 \text{ кДж/кг}$.

Далее по графику Рис. 23 [1] определяем энергосырьевой КПД технологической установки, $\eta_{э.с} = 96,5\%$ при потере нефтепродуктов 0 %.

По значению энергосырьевого КПД технологической установки и расходам энергии на установку определяем энергию полученных продуктов от первичной нефтепереработки на установке АВТ.

$$\sum G_i E_i = W_{3.3} \cdot \eta_{э.с} \quad \sum G_i E_i = 53,95 \text{ кз.т./1т}$$

Для анализа снижения энергетических показателей при первичной переработке нефти на технологической установке АВТ необходимо определить:

- потери энергии в тепловых процессах от загрязнения поверхности нагрева теплообменных аппаратов;
- потери энергии в тепловом процессе пропаривания оборудования (теплообменных аппаратов из-под темных и светлых нефтепродуктов) при выводе технологической установки на капитальный ремонт;
- энергетические потери в процессе конденсации пара при пропаривании теплообменных аппаратов перед выводом на капитальный ремонт;
- энергетические потери от увеличения расхода потребляемой электроэнергии на электронасосы при подготовке питательной воды для котла, из-за невозвращения чистого конденсата в схему котельной установки;
- потери в окружающую среду.

Остальные виды потерь от других процессов, имеющих место в нефтепереработке, в данном исследовании не рассматриваются.

Определение потери энергии в тепловых процессах от загрязнения поверхности нагрева теплообменных аппаратов

Для анализа влияния потери на энергосырьевой КПД установки, годовой перерасход топлива выразим через теплоту сгорания условного топлива.

$$W_T = \frac{\Delta B \cdot Q_H^P}{7000 \cdot 4,19}$$

Определяем годовой перерасход топлива на 1 т нефти.

$$W_{IT} = \frac{W_T}{G_T}$$

Определение потери энергии в тепловом процессе пропаривания оборудования (теплообменных аппаратов) из-под темных и светлых нефтепродуктов при выводе технологической установки на капитальный ремонт

Тепловые энергетические потери в процессе пропаривания определяются по формуле:

$$Q_{np} = G_{np}(i'' - i_k)\tau$$

где G_{np} - расход пара на пропаривание оборудования, кг/ч; i'' - энтальпия пара, кДж/кг; i_k - энтальпия конденсата при температуре $t_k = 70$ °С.

Расход пара на пропаривание определяется часовым расходом пара, подаваемого от котла на теплообменные аппараты и продолжительностью процесса. Пропаривание осуществляется для группы теплообменных аппаратов с греющей и обогреваемой средами (мазут-нефть, гудрон-нефть, дизельное топливо-нефть, керосин-нефть, вакуумный газойль-нефть).

$$G_{np} = g_n \cdot \tau$$

где g_n - часовой расход пара от котла на пропаривание теплообменного аппарата, кг/ч; τ - время пропаривания, ч.

Энтальпия пара i'' определяется из таблиц [] по давлению пара и температуре. Параметры пара $P = 12$ кгс/см², $t = 240$ °С.

Энтальпия конденсата i_k по температуре $t_k = 70$ °С.

Температура конденсата $t_k = 70$ °С выбрана с учетом допустимого значения температуры конденсата перед фильтрами очистки воды для использования в системе подготовки питательной воды котла.

Дополнительная потеря возникает вследствие дополнительного нагрева химочищенной воды в деаэраторе.

$$Q_d = G'(i'_d - i_k) \cdot \tau$$

где G' - количество химочищенной воды, подаваемой погретой на деаэратор, кг/ч; i'_d - энтальпия подогретой химочищенной воды в деаэраторе, кДж/кг.

Количество воды, подаваемое на деаэратор определяется потребностью восполнения питательной воды котла при процессе пропаривания

теплообменных аппаратов. В нашем случае при $G_D = 13125$ кг/ч. Принимаем расход воды, подлежащий деаэрированию.

$i'_D = 639,8$ кДж/кг, определяется по температуре деаэрации воды $t = 102 - 104$ °С.

$i_k = 293,2$ кДж/кг при температуре $i_k = 70$ °С.

Выразим энергию теплового потока с деаэрированной водой через теплоту сгорания условного топлива.

$$W_D = \frac{Q_D}{7000 \cdot 4,19 \cdot G_H}$$

Расход пара на пропаривание теплообменных аппаратов, обычно, в эксплуатации не фиксируется регистрирующим прибором. Поэтому для определения расхода пара на теплообменные аппараты применяется пересчет общего часового расхода пара из котельной в соотношении поперечных сечений потоков, направляемых по общему паропроводу и ответвлений для пропаривания теплообменных аппаратов.

Для определения расхода пара рассматривается уравнение массового расхода потока.

$$G_{np} \cdot V = F \cdot w$$

где V - удельный объем потока, м³/кг; F - поперечное сечение потока, м²; w - средняя линейная скорость потока, м/с.

При постоянной скорости w , выбранной по рекомендациям [], расход потока определяется по формуле:

$$G_{np} = \frac{F \cdot w}{V}$$

Для нескольких поперечных сечений потока можно выразить:

$$G'_{np} = \frac{F' \cdot w'}{V'}$$

При $V = \text{const}$, когда $P = \text{const}$, $t = \text{const}$ на выходе из котла определяем расход пара для теплообменных аппаратов :

$$G'_{np} = G_{np} \frac{F_1}{F}$$

или

$$G'_{np} = G_{np} \frac{D_1^2}{D^2}$$

где G_{np} - расход пара из котельной, кг/ч; F_1 - сечение трубопровода подвода пара к теплообменным аппаратам, м²; F - сечение общего трубопровода подачи пара из котельной на технологическую установку АВТ; D_1 и D - диаметры трубопровода соответственно к теплообменным аппаратам и общего трубопровода из котельной.

Для n -го количества теплообменных аппаратов:

$$\sum G'_{np} = n \cdot G'_{np}$$

где $n = 14$ штук.

Определим тепловую энергию пара на пропаривание.

$$Q_n = \sum G'_{np} (i'' - i_k) \tau$$

Выразим энергию пара через теплоту сгорания условного топлива на 1 т нефти.

$$W_n = \frac{Q_n}{7000 \cdot 4,19 \cdot G_H}$$

Определение потери от перерасхода электроэнергии в процессе пропаривания теплообменных аппаратов при выводе технологической установки АВТ на капитальный ремонт

Перерасход электроэнергии возникает в результате нагрузки на электронасосы для подготовки химочищенной воды, необходимой для восполнения потерь от невозвращения чистого конденсата в систему

питательной воды котла. Нагрузка электрическая потребляемая определяется мощностью подключаемых двигателей электронасосов.

Общая потребляемая электроэнергия электродвигателей насосов работающих круглосуточно и частично (30 минут в сутки для насоса солевого раствора) определяется по уравнению:

$$W_{\text{э}} = (N_{\text{общ}}^{\text{э}} \cdot \tau) + (N_{\text{сол}}^{\text{э}} \cdot \tau_1)$$

где $N_{\text{общ}}^{\text{э}}$ - потребляемая электроэнергия электродвигателя насосов ХВО, работающих круглосуточно; $N_{\text{сол}}^{\text{э}}$ - потребляемая электроэнергия электродвигателя, насоса ХВО солевого раствора; τ_1 - время работы насоса, ч; τ - время работы насосов ХВО, ч.

Время τ определяется, исходя из продолжительности процесса пропаривания теплообменных аппаратов из-под темных нефтепродуктов - 72 часа, светлых нефтепродуктов - 48 часов, бензинов - 24 часа.

Время τ_1 определяется из продолжительности включения солевого насоса 30 минут сутки.

Для сопоставления потерь выразим потребляемую электроэнергию через теплоту сгорания условного топлива.

$$W^{\text{э}'} = \frac{W_{\text{э}}}{7000 \cdot 4,19 \cdot G_{\text{H}}}$$

Определение суммарных энергетических потерь на влияние энергосырьевого КПД установки АВТ

Суммарные энергетические потери определяем по формуле:

$$W_{\text{з.т}} = G_c E_c + (B + W_{\text{IT}}) \cdot Q_{\text{H}}^{\text{P}} + Q_{\text{мен}} + W_{\text{н}} + W_{\text{д}} + \text{Э} + W^{\text{э}'}$$

$$W_{\text{з.т}} = 58 \text{ кзут} / 1 \text{ т}$$

Тогда энергосырьевой КПД составит:

$$\eta'_{эс} = \frac{\sum G_i E_i}{W_{3.Г}}$$

Тогда снижение энергосырьевого КПД составит:

$$\Delta\eta_{эс} = \frac{\eta_{эс} - \eta'_{эс}}{\eta_{эс}}$$

Снижение эффективности технологической установки АВТ от энергетических потерь показываем в табличной форме.

Результаты снижения эффективности технологической установки АВТ от энергетических потерь

Таблица 2

Наименование	Обоз.	Ед. изм.	Величина
Затраченная энергия	$W_{3.э}$	кг у. т./1т	55,916
Энергия полученных нефтепродуктов	$\sum G_i E_i$	-//-	53,95
Энергосырьевой КПД без энергетических потерь	$\eta_{эс}$	-	0,965
Годовой перерасход топлива	$W_{1Г}$	кг у. т./1т	1,427
Энергия теплового потока с деаэрированной водой	W_D	-//-	0,046
Энергия пара	W_n	-//-	0,213
Энергия потребляемой электроэнергии	$W^{э'}$	-//-	0,00279
Суммарные энергетические потери	$W_{3.Г}$	-//-	58
Энергосырьевой КПД	$\eta'_{эс}$	-	0,92
Снижение энергосырьевого КПД	$\Delta\eta_{эс}$	%	4,6

Выводы

Исследованием влияния энергетических потерь на энергосырьевой КПД технологической установки АВТ установлено:

1. Загрязнение поверхности нагрева теплообменных аппаратов вызывает потери энергии в размере 1130184 кг у.т. за год эксплуатации.
2. Применение пропаривания теплообменных аппаратов из-под темных и светлых нефтепродуктов при выводе установки на ремонт приводит к потере энергии в размере 168696 кг.у.т. за период 144 часов процесса пропаривания.
3. Энергетическая потеря в процессе пропаривания теплообменных аппаратов из-за охлаждения конденсата до 70 °С, по условиям работы фильтров, из-за не использования горячей воды для дегазации составляет 36432 кг. у. т.
4. Энергетические потери от увеличения расхода потребляемой энергии электронасосами химводоочистки для подготовки питательной воды котла из-за не возврата конденсата в схему деаэрации воды, в процессе пропаривания теплообменных аппаратов составляют 2209,68 кг у. т.
5. Снижение эффективности работы установки по первичной переработке нефти из-за перечисленных энергетических потерь по анализу энергосырьевого КПД составляет от 96,5% до 92%.
6. Суммарные энергетические потери за годовой период эксплуатации (11 месяцев) и подготовки теплообменных аппаратов из-под светлых и темных нефтепродуктов к капитальному ремонту составят 1337521,68 кг у. т.

Литература

1. Степанов А.В., Сульжик Н.И., Горюнов В.С. Рациональное использование сырьевых и энергетических ресурсов при переработке углеводородов. К.: Техника, 1989. – 160с.
2. Мате С. Исследование потерь энергии // Нефть, газ и нефтехимия за рубежом. – 1980. - № 7. – С. 95-97.
3. Флеминг Дж. Б., Дакхом Г. И., Стайслингер Дж. Р. Сокращение потерь энергии при эксплуатации теплообменников // Нефть, газ и нефтехимия за рубежом. – 1976. - № 7.- С. 31-34.