

## ЗАВИСИМОСТЬ ВЛИЯНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЕПЛООБМЕННЫХ ТРУБ НА ТЕМПЕРАТУРУ НАГРЕВА НЕФТИ И КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ

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

**Показана методика оценки влияния термического сопротивления металлической стенки на изменение коэффициента теплопередачи. Приведены расчетные результаты исследования влияния загрязнения теплообменных труб на изменение температуры нагрева нефти, коэффициент теплопередачи и температурный напор.**

В нефтеперерабатывающей промышленности широко используются теплообменные аппараты поверхностного типа. В этих аппаратах тепло от «горячего» потока-среды, с более высокой температурой передается «холодному» потоку-среде с более низкой температурой, через теплопередающую поверхность металлической стенки.

Теплообмен потоков в этих аппаратах описывается уравнениями:

$$Q_2 = G (H_n - H_k) \quad (1)$$

$$Q_x = g (h_k - h_n) \quad (2)$$

где,  $Q_2$  - тепло, отданное горячим потоком, Вт;

$Q_x$  - тепло, полученное холодным потоком, Вт;

$G, g$  – массовые расходы горячего и холодного потоков соответственно, кг/с;

$H_n, H_k$  - начальная и конечная удельная энтальпия горячего потока соответственно, Дж/кг;

$h_n, h_k$  - начальная и конечная удельная энтальпия для холодного потока, Дж/кг.

Тепловой баланс в теплообменном аппарате описывается уравнением:

$$Q_x = \eta Q_2 \quad (3)$$



где,  $\eta$  – к.п.д. аппарата нагревательного.

Тепловой поток в теплообменном аппарате проходит через многослойную стенку и описывается следующими уравнениями.

Уравнением теплоотдачи от горячей среды к стенке:

$$Q_2 = \alpha_2 F (t_2 - t_1) \quad (4)$$

Уравнением теплоотдачи от стенки к холодной среде:

$$Q_{cm} = \alpha_x F (t_3 - t_x) \quad (5)$$

Уравнение, описывающее передачу тепла через однослойную стенку:

$$\alpha_2 F (t_2 - t_1) = \frac{\lambda_1}{\delta_1} F (t_1 - t_2) = \alpha_x F (t_3 - t_x) \quad (6)$$

Уравнение, описывающее передачу тепла через двухслойную стенку:

$$\alpha_2 F (t_2 - t_1) = \frac{\lambda_1}{\delta_1} F (t_1 - t_2) = \frac{\lambda_2}{\delta_2} F (t_2 - t_3) = \alpha_x F (t_3 - t_x) \quad (7)$$

где,  $\alpha_2, \alpha_x$  - коэффициенты теплоотдачи со стороны горячего и холодного потоков, соответственно, Вт/(м<sup>2</sup> К);

$t_2, t_x$  - средние температуры горячего и холодного потоков, °С;

$F$  - поверхность теплопередачи, м<sup>2</sup>;

$\delta_1, \delta_2$  - толщина первого и второго слоев стенки, м;

$\lambda_1, \lambda_2$  - коэффициенты теплопроводности слоев, Вт/(м К);

$t_1, t_2, t_3$  - температуры стенки со стороны горячего потока, на границе между слоями и со стороны холодного потока, соответственно, °С



Уравнение теплообмена для многослойной стенки:

$$Q = F(t_2 - t_x) / R = KF\Delta t \quad (8)$$

где  $F$  - поверхность теплопередачи,  $\text{м}^2$ ;

$$R = \frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_2} + \sum_1^n \left(\frac{\delta}{\lambda}\right)_i + \frac{1}{\alpha_x} \quad (9)$$

где,  $R$  - общее термическое сопротивление теплопередаче,  $\text{м}^2 \text{К}/\text{Вт}$ ;

$K = 1/R$  - коэффициент теплопередачи,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \text{К})$ ;

$1/\alpha_2$  - термическое сопротивление пограничного слоя горячего потока,  $\text{м}^2 \text{К}/\text{Вт}$ ;

$1/\alpha_x$  - термическое сопротивление пограничного слоя холодного потока,  $\text{м}^2 \text{К}/\text{Вт}$ ;

$\delta_i$  - толщина  $i$ -го слоя стенки,  $\text{м}$ ;

$\lambda_i$  - коэффициент теплопроводности  $i$ -го слоя,  $\text{Вт}/\text{м К}$ .

Термическое сопротивление загрязнения теплопередающей металлической стенки со стороны горячего  $r_2$  и холодного  $r_x$  потоков принимается в зависимости от характера теплоносителя.

Для твердых отложений (накипь, кокс, парафин) термическое сопротивление определяется по формуле:

$$r = \frac{\delta}{\lambda} \quad (10)$$

где,  $\delta$  - максимально допустимая (до очистки) толщина отложений,  $\text{м}$ ;  $\lambda$  - коэффициент теплопроводности отложения,  $\text{Вт}/\text{м К}$ .

В процессе теплообмена температура горячего, холодного потоков не постоянные. Изменение температуры меняется от входа потока в теплообменный аппарат до выхода из него. С учетом этих изменений следует определять усредненную разность температур.



При противотоке либо при прямотоке, температурный напор определяется по формуле:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_{\text{б}} - \Delta t_{\text{м}}}{2,31q \frac{\Delta t_{\text{б}}}{\Delta t_{\text{м}}}} \quad (11)$$

где,  $\Delta t_{\text{б}}$  и  $\Delta t_{\text{м}}$  - большая и меньшая разности температур между потоками на входе и на выходе из теплообменного аппарата соответственно.

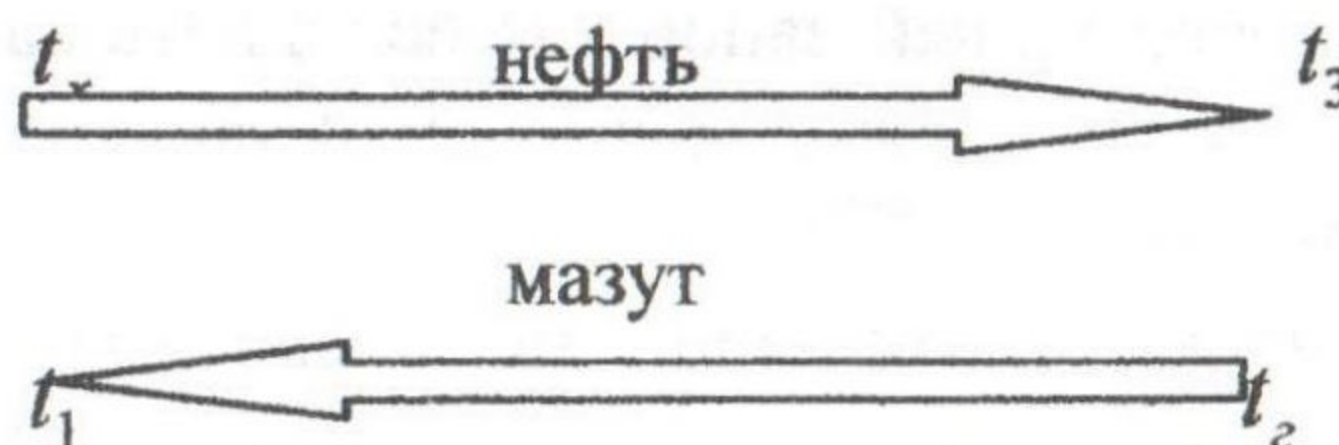
Расчет производится по этой формуле, если  $\Delta t_{\text{б}} / \Delta t_{\text{м}} < 2$ .

Исследование влияния термического сопротивления загрязнения теплопередающей металлической стенки со стороны горячего  $r_2$  и холодного  $r_x$  потоков на изменение температуры обогреваемого потока на выходе из теплообменного аппарата выполняется в два этапа.

Вначале выполняется поверочный расчет для заданной конструкции выбранного типа теплообменного аппарата при исходных значениях массовых расходов  $Q, q$  горячего и холодного потоков, начальной  $T_2$  и конечной температуре  $T_1$  горячего потока, начальной температуре холодного потока  $T_x$ .

Далее при выбранных значениях термических сопротивлений  $r_2, r_x$  следует выполнить расчет баланса теплоты по уравнению (8), рассчитывая общее термическое сопротивление  $R$  по формуле (9).

При этом для достижения баланса, подбирается разность температур  $\Delta t = t_2 - t_3$  в соответствии с направлением потоков теплообмена, рис. 1, температурный напор определяется по формуле (11).





На рис.1. представлена схема потоков: обогреваемого потока (нефть), греющего потока (мазут).

$t_x$  - начальная температура нефти на входе в теплообменный аппарат, °С;

$t_3$  - конечная температура нефти на выходе из теплообменного аппарата, °С;

$t_2$  - температура мазута на входе в теплообменный аппарат, °С;

$t_1$  - температура мазута на выходе из теплообменного аппарата, °С.

Баланс тепла в теплообменном аппарате рассчитывается по уравнению (8) при соответствующем температурном напоре  $\Delta t$  и коэффициенте теплопередачи, определяемым по уравнениям (9) и (11).

Достижения баланса в теплообменном аппарате осуществляется подбором температуры  $t_3$  на выходе холодного потока итерационным методом. Изменение температуры  $t_3$  влечет изменение температурного напора  $\Delta t$  в теплообменнике.

Изменение температурного напора и коэффициента теплопередачи можно представить следующей зависимостью:

$$\frac{K'}{K} = \frac{\Delta t}{\Delta t'} \quad (12)$$

где,  $K'$  - коэффициент теплопередачи при изменении термического сопротивления из-за загрязнения со стороны холодного потока  $r_x$ , со стороны греющего потока  $r_2$ , Вт/(м<sup>2</sup> К);

$K$  - коэффициент теплопередачи теплообменного аппарата, в исходном варианте не имеющего загрязнения на поверхности труб и межтрубного пространства, Вт/(м<sup>2</sup> К);

$\Delta t$  - температурный напор для исходного варианта теплообменного аппарата, не имеющего загрязнения на поверхности труб и межтрубного пространства, °С;

$\Delta t'$  - температурный напор при изменении температуры  $t_3$  на выходе обогреваемого потока теплообменного аппарата, °С.



## Результаты исследования

Расчетные результаты исследования представляем в табличной форме.

Таблица 1

№ п/п	Конечная температура нефти $t_3, ^\circ\text{C}$	Коэффициент теплопередачи К, Вт/(м <sup>2</sup> К)	Температурный напор $\Delta t, ^\circ\text{C}$	Поверхность теплообмена F, м <sup>2</sup>	Количество тепла Q, кВт
1.	100	194,28	58,2	514	5812
2.	94	187,02	60,2	514	5787
3.	88	180,2	62,3	514	5770
4.	82	174,0	64,95	514	5808

Результаты исследования представляем в графическом виде.

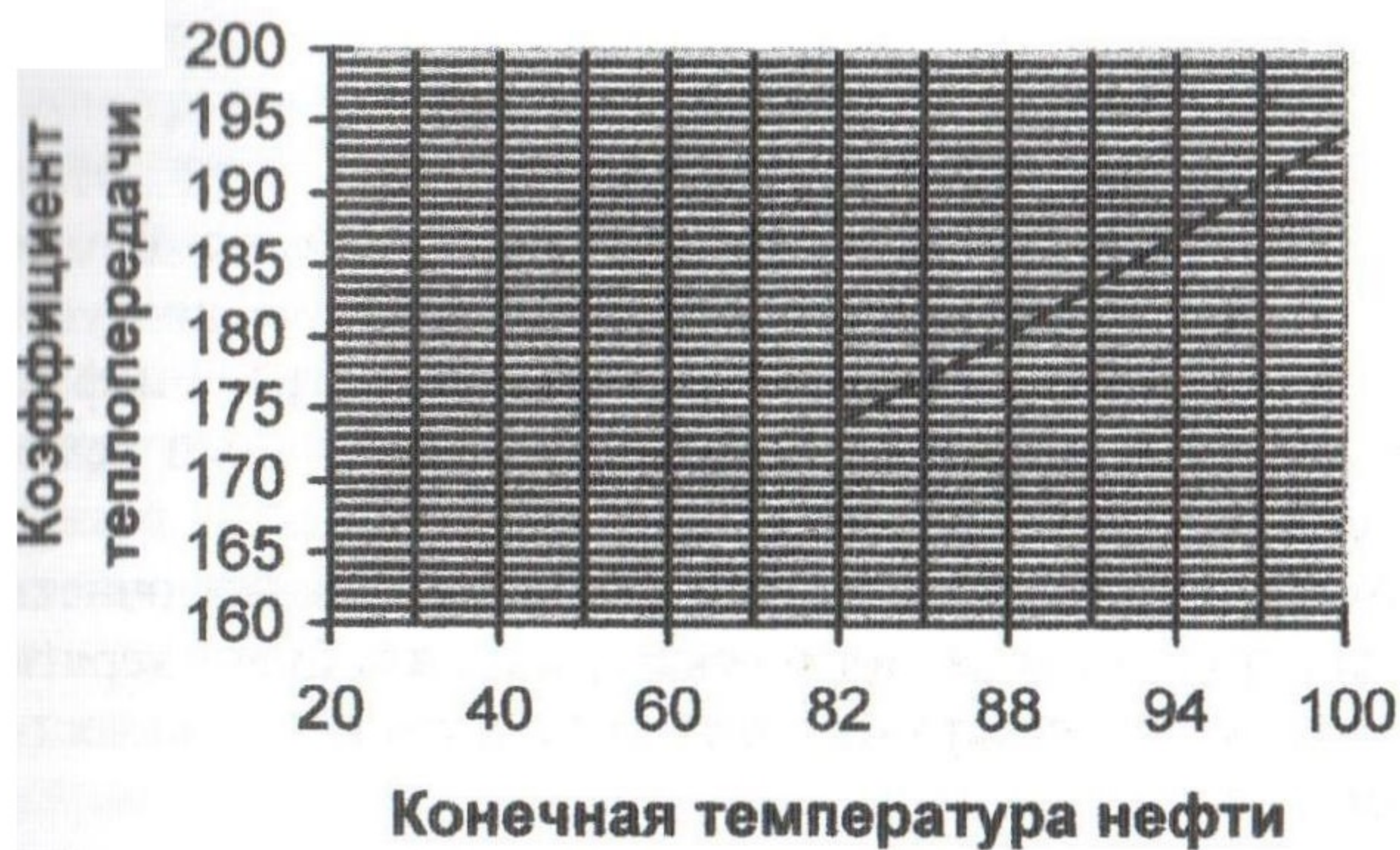


Рис.1. Зависимость влияния конечной температуры нефти  $t_3$  на коэффициент теплопередачи

Из этой зависимости видно, как снижается коэффициент теплопередачи и конечная температура нефти с появлением на стенках теплообменных труб эксплуатационных отложений.



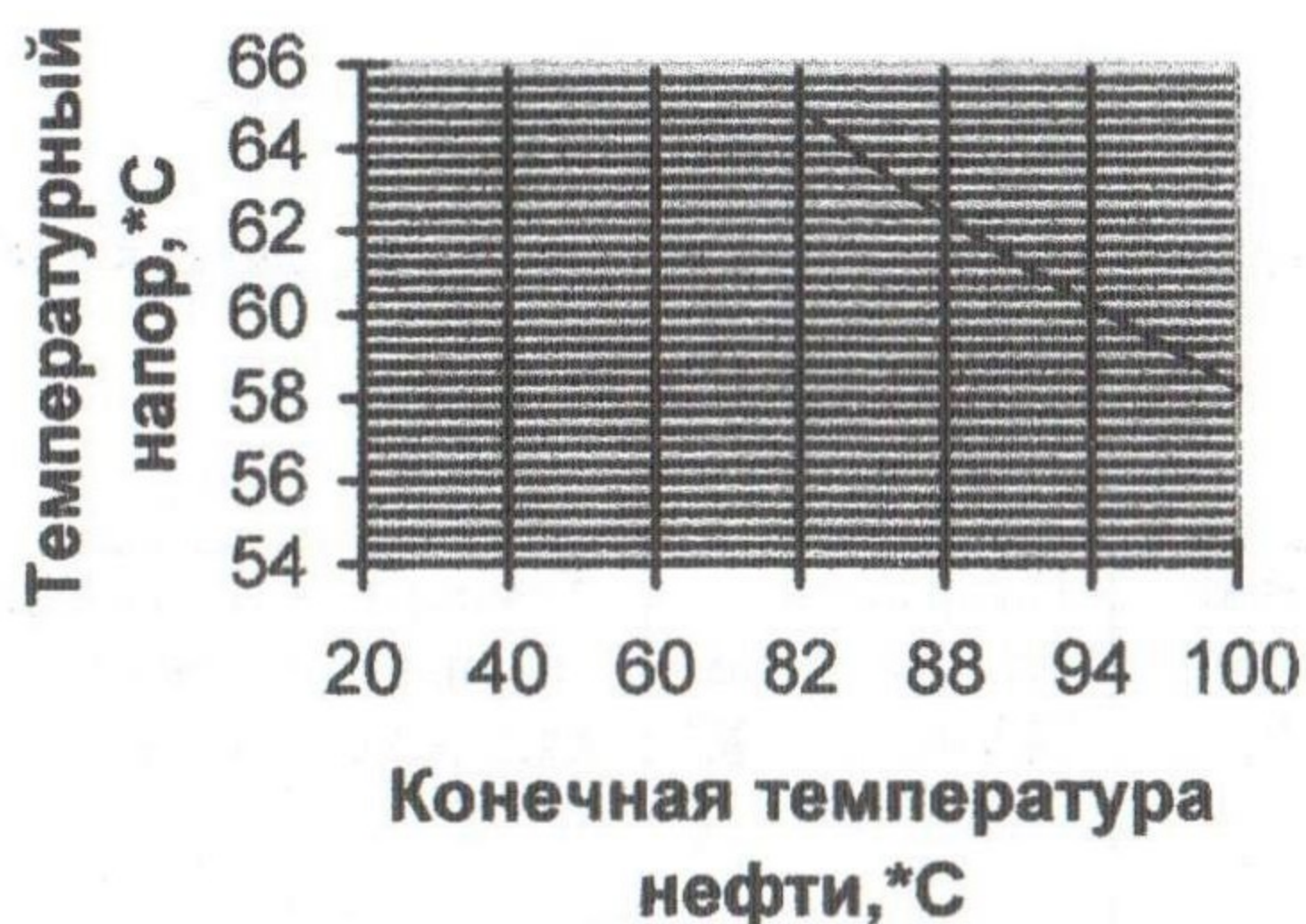


Рис.2. Зависимость влияния конечной температуры нефти  $t_3$  на изменение температурного напора  $\Delta t$

Из этой зависимости видно, как с уменьшением конечной температуры нефти повышается температурный напор, что подтверждает появление на стенках теплообменных труб эксплуатационных отложений.

#### Выводы:

1. Анализируя влияние эксплуатационного загрязнения теплообменных труб, эксплуатационный персонал технологической установки может контролировать снижение температуры нагрева нефти и степень загрязнения и рекомендовать предупредительный ремонт для очистки труб.
2. Если не будет произведен предупредительный ремонт очистки теплообменных труб, то технологическая установка будет терять тепло на энергетических потерях, будет недовыработка качественной продукции.

#### Литература

1. Рудин М. Г., Сомов В. Е., Фомин А.С. Карманный справочник нефтепереработчика. / Под редакцией Рудина М.Г. – М.: ЦНИТЭнефтехим, 2004. – 336с.
2. 2. Расчеты основных процессов и аппаратов нефтепереработки: Справочник / Рабинович Г.Г., Рябых П.М., Хохряков П.А. и др.; Под ред. Е.Н. Судакова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1979. – 568с.