

М. Г. Кузнецов, О. В. Козулина, Е. Ю. Ермакова,  
Ю. Ф. Коротков, А. Н. Николаев

## РАСЧЕТ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ АППАРАТОВ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ И НАГРЕВА ВОДОНЕФТЯНОЙ ЭМУЛЬСИИ

*Ключевые слова:* нефть; водонефтяная эмульсия; обезвоживание; промежуточный теплоноситель; деэмульсатор; жаровая труба.

*Рассмотрены особенности работы аппаратов совместного сбора, подготовки и транспорта попутного нефтяного газа, нефти и пластовой воды в районах с суровыми климатическими условиями. Приведен расчет теплоизоляции аппарата.*

*Keywords:* Oil; a water oil emulsion; dehydration; the intermediate heat-transfer medium; a heat pipe.

*Features of work of devices of joint assembly, preparation and transport of passing petroleum gas, oil and sheet water in areas with severe environmental conditions are considered. Calculation of a heat insulation of the device is resulted.*

В районах с суровыми климатическими условиями аппараты совместного сбора, подготовки и транспортирования попутного нефтяного газа, нефти и пластовой воды, размещенные на открытых площадках, теплоизолируют. Особенность работы теплоизолированного аппарата заключается в том, что температура окружающего воздуха может достигать минус 50°C, а температура нефти в аппарате не должна быть ниже 5°C [1].

При расчете теплоизоляции необходимо учитывать такие факторы, как большая площадь поверхности теплообмена аппарата с окружающим его воздухом, большой перепад температур внутри и снаружи аппарата и резкое возрастание вязкости нефти при ее охлаждении. Для снижения вязкости обводненной нефти и сокращения времени на обезвоживание ее нагревают и обрабатывают химреагентами в аппаратах для разделения и нагрева водонефтяной эмульсии – деэмульсаторах.

В деэмульсаторе с использованием промежуточного высокотемпературного теплоносителя [2] (например, глицерина,  $t_{кип} = 400$  °C) нефтяную эмульсию без особо больших энергозатрат можно нагреть до температуры 20°C и выше путем сжигания в жаровой трубе деэмульсатора попутного нефтяного газа, отбираемого из этого же аппарата.

В деэмульсаторе с использованием промежуточного высокотемпературного теплоносителя исключаются контакт продуктов сгорания топлива с нагреваемой нефтью, прогар жаровой трубы и образование отложений на внутренней стенке кожуха, в котором циркулирует промежуточный теплоноситель. С этой точки зрения деэмульсатор с использованием промежуточного высокотемпературного теплоносителя является наиболее пожаровзрывобезопасным.

Исходными данными для определения толщины слоя теплоизоляции считаются вязкость нагретой до требуемой температуры водонефтяной эмульсии, пропускная способность деэмульсатора, рабочее давление в нем и температура окружающего аппарат воздуха.

Как правило, скорость рабочей среды в деэмульсаторе небольшая и перенос тепла к внутрен-

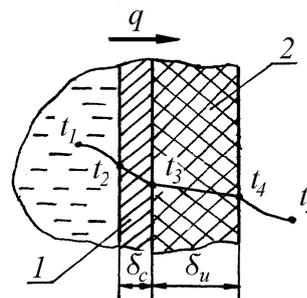
ней стенке аппарата от медленно движущегося потока вязкой водонефтяной эмульсии происходит в условиях проявления слабых конвективных токов. Теплота от наружной стенки теплоизоляции в окружающую среду передается путем естественной конвекции.

На рис. 1 показано изменение температуры при переносе теплоты от нагретой до средней температуры  $t_1 = \frac{t_n + t_k}{2} = \frac{5 + 35}{2} = 20$  °C водонефтяной эмульсии в аппарате к окружающему воздуху.

Удельный тепловой поток от ядра потока жидкости к внутренней стенке рассчитывается по уравнению:

$$q_{1-2} = \alpha_{ж}(t_1 - t_2), \text{ Вт/м}^2 \quad (1)$$

где  $\alpha_{ж}$  – коэффициент теплоотдачи для жидкости, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $t_1$ ,  $t_2$  – температуры жидкости в ядре потока и на поверхности внутренней стенки аппарата, °C.



**Рис. 1** - Картина изменения температуры при переносе теплоты от жидкой среды через теплоизолированную стенку аппарата в окружающую среду: 1 – стенка аппарата; 2 – теплоизоляция

Задавшись перепадом температур  $\Delta t_{1-2} = t_1 - t_2$ , можно рассчитать для каждого значения этого перепада удельный тепловой поток  $q_{1-2}$ .

В стационарном режиме работы аппарата удельный тепловой поток от нагретой до температуры  $t_1$  жидкости через теплоизолированную стенку

аппарата к окружающему воздуху остается постоянным, т.е.  $q_{1-2} = q_{2-3} = q_{3-4} = q_{4-5}$ , Вт/м<sup>2</sup>.

Температура  $t_3$  наружной стенки аппарата определяется из уравнения:

$$q_{2-3} = \frac{\lambda_c}{\delta_c} (t_2 - t_3), \quad (2)$$

где  $q_{2-3}$  – удельный тепловой поток через стенку аппарата, Вт/м<sup>2</sup>;  $\delta_c$  – толщина стенки аппарата, м;  $\lambda_c$  – коэффициент теплопроводности для стальной стенки, равный 6,5 Вт/(м·К).

Температура  $t_4$  наружной стенки теплоизоляции определится из уравнения:

$$q_{4-5} = \alpha_b (t_4 - t_5), \quad (3)$$

где  $q_{4-5}$  – удельный тепловой поток от наружной стенки теплоизоляции к воздуху, Вт/м<sup>2</sup>;  $\alpha_b$  – коэффициент теплоотдачи для воздуха в условиях естественной конвекции, равный 9 Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $t_5 = -45^\circ\text{C}$  – температура воздуха снаружи аппарата.

Толщина стенки  $\delta_u$  теплоизоляции определится из уравнения:

$$q_{3-4} = \frac{\lambda_u}{\delta_u} \cdot \Delta t_{3-4}, \quad (4)$$

где  $q_{3-4}$  – удельный тепловой поток через стенку теплоизоляции, Вт/м<sup>2</sup>;  $\lambda_u$  – коэффициент теплопроводности материала теплоизоляции, Вт/(м·К);  $\Delta t_{3-4} = t_3 - t_4$  – перепад температур на наружной и внутренней стенках теплоизоляции, °С.

Зависимость удельного теплового потока  $q$  от перепада температур показана на рис.2.

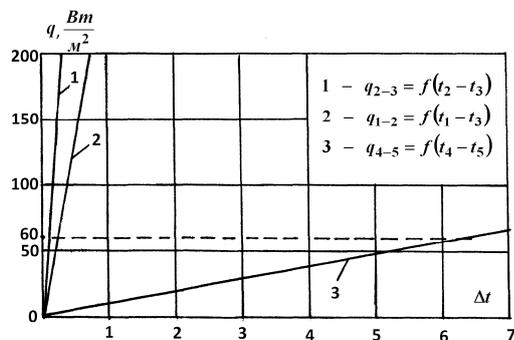


Рис. 2 - Зависимость удельного теплового потока от перепада температур

Параметры  $\alpha_{ж}$ ,  $\lambda_c/\delta_c$  и  $\alpha_{\hat{a}}$  в (1)–(3) характеризуют наклоны прямых 1 (стальная стенка); 2 (водонефтяная эмульсия) и 3 (воздух).

Для водонефтяной эмульсии  $\alpha_{ж} = 600$  Вт/(м<sup>2</sup>·К) [2].

- 1 -  $q_{2-3}$  (через стенку аппарата);
- 2 -  $q_{1-2}$  (от водонефтяной эмульсии к внутренней стенке аппарата);

3 -  $q_{4-5}$  (от наружной стенки теплоизоляции к воздуху).

При  $t_1 = 20^\circ\text{C}$  и принятом перепаде температур  $\Delta t_{1-2} = t_1 - t_2 = (20 - 19,9) = 0,1$  град. удельный тепловой поток равен:

$$q_{1-2} = \alpha_{ж} \cdot \Delta t_{1-2} = 600 \cdot 0,1 = 60 \text{ Вт/м}^2.$$

При  $\Delta t_{1-2} = (20 - 19) = 1$  град.  $q_{1-2} = 600 \cdot 1 = 600$  Вт/м<sup>2</sup>.

Таким образом, на графике  $q_{1-2} = f(\Delta t_{1-2})$  – прямая.

Аналогично построены прямые  $q_{2-3} = f(\Delta t_{2-3})$  и  $q_{4-5} = f(\Delta t_{4-5})$ .

Температура  $t_2$  эмульсии у поверхности внутренней стенки деэмульсатора должна быть близкой к  $20^\circ\text{C}$ , поэтому температура наружной стенки аппарата равна:

$$t_3 = -\frac{q_{1-2} \cdot \delta_c}{\lambda_c} + t_2 = -\frac{60 \cdot 0,018}{6,5} + 19,9 = 19,7^\circ\text{C},$$

Температура воздуха на наружной стенке теплоизоляции

$$t_4 = -\frac{q_{1-2}}{\lambda_b} - t_5 = -\frac{60}{9} - 45 = -38,4^\circ\text{C},$$

Толщина стенки теплоизоляции, например, из стекловаты

$$\delta_u = \frac{\lambda_u \cdot t_{3-4}}{q_{3-4}} = \frac{0,05 \cdot [19,7 - (-38,4)]}{60} = 0,05 \text{ м}.$$

Таким образом, толщина слоя стекловаты, которой должен быть обернут деэмульсатор при  $q_{1-2} = q_{2-3} = q_{3-4} = q_{4-5} = 60$  Вт/м<sup>2</sup>, равна 50 мм.

Без теплоизоляции температура наружной стенки была бы равна:

$$t'_3 = -\frac{q_{1-2}}{\lambda_b} - t'_4 = -\frac{60}{9} - 45 = -38,4^\circ\text{C},$$

а внутренней стенки –

$$t'_2 = -\frac{q_{1-2} \cdot \delta_c}{\lambda_c} - t'_3 = -\frac{60 \cdot 0,018}{6,5} = -38,4^\circ\text{C},$$

где  $t'_4$  – температура воздуха снаружи у стенки аппарата, °С.

Водонефтяная эмульсия в спокойном состоянии при такой температуре в аппарате станет очень сильной вязкой жидкостью.

## Литература

1. Забродин А.Г., Алибеков С.Я., Маряшев А.В., Сальманов Р.С., Фильмонов С.С. Анализ физико-механических свойств мазута и устройство для его эффективной подготовки и сжигания //Вестник Казан. Технол. ун-та. – 2013. – Т.16. - №5. – С.226. – 233.
2. Коротков Ю.Ф., Ермакова Е.Ю., Козулина О.В., Кузнецов М.Г., Панков А.О. Обустройство нефтяных промыслов //Вестник Казан. Технол. ун-та. – 2013. – Т.16. - №5. – С.234-235.