

ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕВА НЕФТЕОСТАТКОВ
ПРИ МОЙКЕ ГРУЗОВЫХ ОТСЕКОВ ТАНКЕРОВ

В процессе мойки грузовых отсеков танкеров слой нефтеостатков оказывает сопротивление гидродинамическому воздействию струи моющей воды силами внутреннего трения, показателем которых является вязкость, и силами межмолекулярного взаимодействия, показателем которых является поверхностное натяжение.

Эти показатели определяют величины работ деформации нефтеостатков, их когезионного и адгезионного удаления с поверхностей грузового отсека за счет энергии струй [1].

Поскольку указанные показатели напрямую зависят от температуры нефтеостатков, которая возрастает в процессе мойки в результате термического воздействия моющей воды, достоверная оценка температуры нефтеостатков необходима для повышения эффективности процесса мойки грузовых отсеков танкеров.

Цель настоящего исследования – достоверная оценка температуры нагрева слоя нефтеостатков за счет тепловой энергии моющей воды.

При ударе струи моющей воды о вертикальную стенку грузового танка, нормально ориентированную к оси струи, моющая вода растекается по поверхности преграды симметрично относительно оси струи [2]. Затем вода стекает по стенке вниз в виде пленки шириной b_v и толщиной δ_v .

При стекании воды по слою нефтеостатков толщиной δ_n , покрывающему внутреннюю поверхность грузового танка, происходит передача теплоты от воды через слой нефтеостатков, стальную стенку танка толщиной $\delta_{ст}$ в забортную воду либо воздух, находящиеся в бортовых (днищевых) танках изолированного балласта и контактирующие с наружной поверхностью стенок грузового танка. Таким образом, теплота от моющей воды передается в забортную воду или воздух через многослойную плоскую стенку [3]. Непосредственное изменение температуры нефтеостатков невозможно, так как их слой располагается между стенкой грузового танка и пленкой стекающей моющей воды.

Для теоретического исследования указанного процесса теплопередачи примем некоторые допущения. Во первых, будем считать процесс стационарным, при котором температура тел постоянна во времени. Во вторых, пренебрежем потерями теплоты при теплоотдаче от моющей воды в газообразную среду внутри грузового танка. Это до-

пущение вполне оправдано, поскольку, как показывает практика, разность температур моющей воды t_b и атмосферы внутри танка t_r составляет 12 ... 15° С, что значительно ниже разности температур воды t_b и среды t_{cp} (воздух, забортная вода), контактирующей с наружной поверхностью стенок грузового танка, т.е. $(t_b - t_m) \ll (t_b - t_{cp})$, поэтому основное количество теплоты будет передаваться от моющей воды в направлении наибольшего температурного градиента.

Исследование процесса теплопередачи осуществим с использованием графического метода определения температур на поверхности слоев неоднородной стенки, в основу которого положено свойство линейной зависимости температурного напора q в стенке от ее термического сопротивления $1/k$, где k – коэффициент теплопередачи [3]:

$$t_e - t_{cp} = q \frac{1}{k},$$

или для любого слоя

$$t_{ci} - t_{c(i-1)} = q \frac{\delta_{ci}}{\lambda_{ci}},$$

где δ_{ci} и λ_{ci} , соответственно, толщина и коэффициент теплопроводности i -того слоя.

Такая зависимость дает возможность построить фиктивную стенку, в которой толщины слоев будут пропорциональны соответствующим термическим сопротивлениям, а внешние термические сопротивления теплоотдачи равны $1/\alpha_1$ и $1/\alpha_2$, где α_1 – коэффициент теплоотдачи от воды к слою нефтеостатков, а α_2 – коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности стенки танка в контактирующую с ней среду (воздух либо забортную воду).

Общее термическое сопротивление теплопередачи через такую стенку

$$R = \frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{\delta_{ct}}{\lambda_{ct}} + \frac{1}{\alpha_2}, \quad (1)$$

где δ_{ct} , λ_n и λ_{ct} – толщина стенки грузового танка и коэффициенты теплопроводности, соответственно, нефтеостатков и материала стенки грузового танка.

Толщина слоя мазута, налипшего на стенки танка, определяется из соотношения, $\delta_n = K\rho^{-1}$, где ρ – плотность мазута, $\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$, а K – коэффициент налипаемости мазута, $\text{кг}\cdot\text{м}^{-2}$, который определяется по безразмерным степенным зависимостям, приведенным в [4].

Таким образом, неизвестными величинами в формуле (1) являются

коэффициенты теплоотдачи α_1 и α_2 .

При пленочном течении воды α_1 может быть определен из критерия Нуссельта для пленочного течения $Nu = 4\alpha_1\delta_b/\lambda_b$ [5]:

$$\alpha_1 = 0,25Nu\lambda_b/\delta_b, \quad (2)$$

где δ_b и λ_b – соответственно толщина пленки воды и коэффициент теплопроводности воды.

Для определения α_1 необходимо знать величины Nu и δ_b . Для оценки значений этих показателей обратимся к результатам теоретического исследования взаимодействия водяной струи со стенкой резервуара при его охлаждении в условиях пожара, выполненного А.Е. Басмановым и А.А. Михайлюком [6], целью которого является оценка скорости стекания пленки воды по стенке резервуара после удара струи, толщины водяной пленки и границ области охлаждения (ширина стекающей пленки воды). При этом, учитывая, что диаметр резервуара значительно больше ширины пленки воды, авторы исследования пренебрегли учетом кривизны поверхности резервуара и изучали процесс стекания пленки воды по плоской вертикальной стенке.

В указанной работе приводятся данные о толщине δ_b и ширине b_b водяной пленки при расходе воды через пожарный ствол $Q = 0,0045 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$. Именно этой величине практически равен средний расход моющей воды через одно сопло судовых моечных машинок, имеющих сопла диаметром $d_o = 9,0; 11,0; 13,0$ и $15,0$ мм, и работающих при давлении воды P_o в диапазоне $0,6 \dots 1,0$ МПа. Поэтому вполне обоснованно для дальнейших рассуждений примем приведенные в [6] следующие значения показателей стекающей пленки воды: $\delta_b = 0,001 \text{ м}$, $b_b = 1,6 \text{ м}$.

Величину критерия Nu можно определить по приведенной в [5] номограмме, зная значения критериев Рейнольдса Re и Прандтля Pr для пленочного течения:

$$Re = \frac{4Q}{b_b v_b},$$

где v_b – кинематическая вязкость воды при заданной температуре;

$$Pr = \frac{v_b C_{pв} \rho_b}{\lambda_b},$$

где $C_{pв}$, ρ_b и λ_b – соответственно, удельная изобарная теплоемкость воды; ρ_b – плотность воды; λ_b – теплопроводность воды при заданной температуре.

При принятой температуре моющей воды $t_b = 50^\circ \text{C}$ $Re = 17629$, $Pr = 4,25$.

Определенный по номограмме критерий $Nu = 86,0$, $\alpha_1 = 13975 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{К}^{-1}$.

В литературных источниках по данному направлению исследований отсутствуют какие либо сведения о значениях коэффициента теплоотдачи α_2 от плоской стенки в воду либо воздух. При этом выявлены нормативно регламентированные данные о коэффициентах теплопередачи от нефтегруза через стальную стенку грузового танка в воздух при температуре $t_{cp} = -25^\circ \text{C}$ (k_1) и забортную воду при температуре $t_{cp} = 0^\circ \text{C}$ (k_2) [7].

С учетом изложенного формула (1) принимает вид:

$$R = \frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{k_{1,2}}. \quad (3)$$

По приведенным в [7] графическим зависимостям определены значения указанных коэффициентов теплопередачи: $k_1 = 4,28 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{К}^{-1}$, $k_2 = 18,75 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{К}^{-1}$.

Результаты теоретического исследования процесса теплопередачи от стекающей пленки моющей воды через многослойную плоскую стенку в графической интерпретации представлены на рисунке, где по оси абсцисс в принятом масштабе отложены величины термических сопротивлений $1/\alpha_1$, δ_n/λ_n и $1/k_{1,2}$, а по оси ординат – температура моющей воды $t_b = 50^\circ \text{C}$ и соответствующие температуры сред: воздух – $t_{cp} = -25^\circ \text{C}$, забортная вода – $t_{cp} = 0^\circ \text{C}$ [3].

Толщина слоя мазута, налипшего на вертикальные стенки грузового отсека, определенная по данным [4], изменяется в диапазоне $\delta_n = (0,007 \dots 0,066) \cdot 10^{-3} \text{ м}$, для днищевой поверхности грузового танка $\delta_n = (0,040 \dots 0,450) \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

Для повышения наглядности графического отображения исследуемого процесса теплопередачи примем толщину слоя нефтеостатков $\delta_n = 1,0 \text{ мм}$, что на один-два порядка выше приведенных значений δ_n .

Термические сопротивления, входящие в состав выражения (3), имеют следующие значения: $1/\alpha_1 = 0,072 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2\cdot\text{К}\cdot\text{Вт}^{-1}$; $\delta_n/\lambda_n = 1,54 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2\cdot\text{К}\cdot\text{Вт}^{-1}$ ($\lambda_n = 65,0 \cdot 10^{-2} \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$); $1/k_1 = 230,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2\cdot\text{К}\cdot\text{Вт}^{-1}$; $1/k_2 = 53,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2\cdot\text{К}\cdot\text{Вт}^{-1}$. Эти величины термических сопротивлений на рис. представлены, соответственно, отрезками AB , BC , CE и CD .

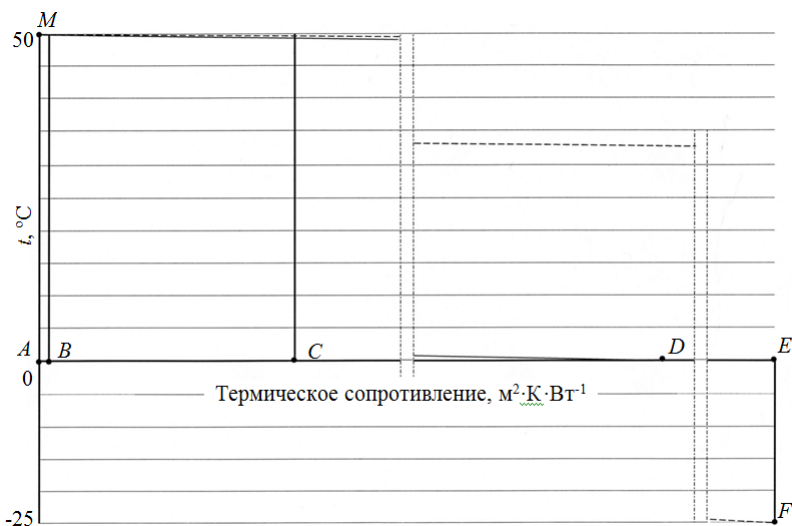


Рис. Графическое отображение процесса теплообмена между моющей водой и слоем нефтеостатков на поверхности грузового танка

Изменение температуры в многослойной стенке при теплопередаче от пленки моющей воды в забортную воду и воздух изображено прямыми, соответственно, MD (сплошная линия) и MF (пунктирная линия).

Как видно из рис., разность температур слоя нефтеостатков и моющей воды не превосходит $1,5^\circ\text{C}$. Для приведенных выше значений толщин слоя нефтеостатков, определенных по данным [4], разность температур будет еще меньше.

Таким образом установлено, что в процессе теплообмена между стекающей по поверхности грузового танка моющей водой и слоем нефтеостатков, налипших на эту поверхность, температура нефтеостатков возрастает, практически, до температуры воды. Поэтому при оценке вязкости и поверхностного натяжения нефтеостатков во время мойки грузовых отсеков вполне допустимо принимать их температуру равной температуре моющей воды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голиков В.А. Энергетический баланс процесса гидромониторной очистки емкостей от остатков нефтепродуктов / Голиков В.А., Анфиногентов В.В. // Судовые энергетические установки и системы: эксплуатация и ремонт: III междунар. науч.-техн. конф. — Одесса:

ОНМА, 2009. – С. 120 - 126.

2. Хныкин В.Ф. Разрушение горных пород гидромониторными струями на открытых разработках / Хныкин В.Ф. – М.: Наука, 1969. – 150 с.

3. Исаченко В.П. Теплопередача / Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. – М.: Энергоиздат, 1981. – 417 с.

4. Анфиногентов В.В. Определение количества технологического остатка мазутов после выгрузки танкера / Анфиногентов В.В. // Судовождение: сб. науч. трудов. – Одесса: ОНМА, 2010. – С. 8 - 13.

5. Тананайко Ю.М. Методы расчета и исследования пленочных процессов / Тананайко Ю.М., Воронцов Е.Г. – К.: Техника, 1975.– 311 с.

6. Басманов А.Е. Взаимодействие водяной струи со стенкой резервуара при его охлаждении в условиях пожара / Басманов А.Е., Михайлюк А.А. // Проблемы пожарной безопасности. – 2009. – Вып. 25.– С. 14 - 19.

7. Системы подогрева жидких грузов морских нефтеналивных судов. Правила и нормы проектирования: РД 5.5524-82. – 105 с.