

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ РЕЗЕРВУАРОВ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ТОПЛИВ

П.О. Смоленцев  
Томский политехнический университет  
ИШЭ, группа А0-44

Построена математическая модель и проведено исследование сопряженного теплообмена резервуара для хранения мазута с окружающей средой по средствам конвекции и теплопроводности, при различных значениях параметров окружающей среды и теплоотвода в грунт. Исходя из исследования, мазут находился в резервуаре, изолированном стекловатой.

Для описания процессов теплопередачи в условиях естественной конвекции использовались следующие уравнения:

Для воздуха:

$$\begin{aligned} & \frac{d\Omega}{d\tau} + U \frac{d\Omega}{dX} + V \frac{d\Omega}{dY} = \\ & = \frac{d^2}{dX^2} \left[ \left( \frac{1}{\sqrt{Gr}} + \frac{1}{Re_t} \right) \Omega \right] + \frac{d^2}{dY^2} \left[ \left( \frac{1}{\sqrt{Gr}} + \frac{1}{Re_t} \right) \Omega \right] + \frac{dT}{dY} + 2 \frac{dU}{dY} \frac{d^2}{dX^2} \left( \frac{1}{Re_t} \right) \\ & \quad - 2 \frac{dV}{dX} \frac{d^2}{dY^2} \left( \frac{1}{Re_t} \right) + 2 \left( \frac{dV}{dY} - \frac{dU}{dX} \right) \frac{d^2}{dXdY} \left( \frac{1}{Re_t} \right), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \frac{dT}{d\tau} + U \frac{dT}{dX} + V \frac{dT}{dY} = \\ & \frac{d}{dX} \left[ \left( \frac{1}{Pr_t \sqrt{Gr}} + \frac{1}{Pr_t Re_t} \right) \frac{dT}{dX} \right] + \frac{d}{dY} \left[ \left( \frac{1}{Pr_t \sqrt{Gr}} + \frac{1}{Pr_t Re_t} \right) \frac{dT}{dY} \right], \end{aligned}$$

$$\frac{d^2\psi}{dX^2} + \frac{d^2\psi}{dY^2} = -\Omega.$$

Для сплошных стен резервуара:

$$\frac{1}{Fo} \frac{dT}{d\tau} = \frac{d^2T}{dX^2} + \frac{d^2T}{dY^2}.$$

Условия, которые выполнялись для данной системы уравнений:

– на внешнем контуре области, за исключением левой границы, граничные условия второго рода:

$$\frac{dT_i}{dn} = 0,$$

– на левой внешней границе:

$$-\lambda_i \frac{dT}{dX} = BiT + Bi(T_e) + N[(T)^4 - (T_e)^4],$$

– на границе раздела стенка-газ устанавливаются следующие условия:

$$\psi = 0, \frac{d\psi}{dn} = 0, \frac{dT_1}{dX} = \lambda_{1,2} \frac{dT_2}{dX},$$

– для модели к-ε вблизи твердой поверхности принимается следующее:

$$\frac{dK}{dn} = 0, E = \frac{C_\mu^{3/4} k^{3/2}}{k \Delta n}.$$

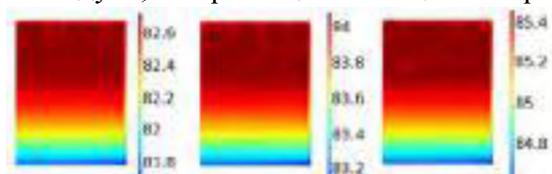
В результате численного моделирования были получены температурные поля конвективного распределения мазута в резервуаре (рисунки 1–3), и поля теплоотвода в грунт (рисунки 4–6), а также поля распределения скорости движения мазута (рисунок 7) в разных частях резервуара в определенные моменты времени.

Рассматривая температурные поля изображенные на рисунках 1–3 мы наблюдаем, что огромное значение при снижении температуры имеет температура наружного воздуха  $t$  в, так же можно наблюдать процесс перемещения мазута в резервуаре при снижении температуры – вблизи стенок мазут отдает тепловую энергию поверхностям резервуара в результате чего пе-

ремещается к днищу резервуара (на рисунках видны характерные “струи” перемещения мазута), где температура имеет более низкие значения по сравнению с верхней частью резервуара.

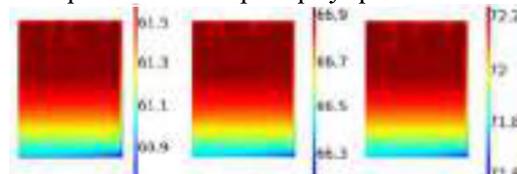
Если говорить про теплоотдачу в грунт, изображенную на рисунках 4–6, то можно сделать вывод что со временем зона прогрева грунта увеличивается.

Скорость перемещения мазута внутри резервуара не зависит от температуры окружающего воздуха, а перемещения вещества происходит в верхней части резервуара.



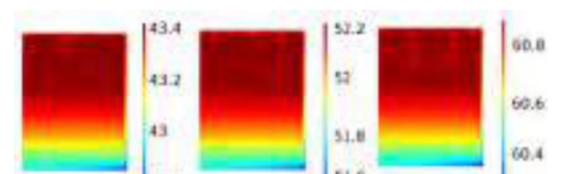
а)  $t_a = -20\text{ }^\circ\text{C}$     б)  $t_a = 0\text{ }^\circ\text{C}$     в)  $t_a = +20\text{ }^\circ\text{C}$

Рис. 1. Температурные поля мазута при различных значениях температуры наружного воздуха и времени остывания  $T = 300\text{ ч}$



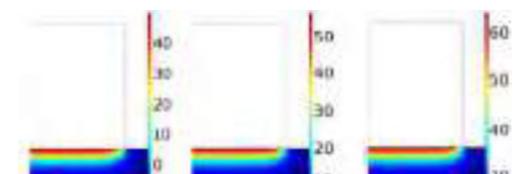
а)  $t_a = -20\text{ }^\circ\text{C}$     б)  $t_a = 0\text{ }^\circ\text{C}$     в)  $t_a = +20\text{ }^\circ\text{C}$

Рис. 2. Температурные поля мазута при различных значениях температуры наружного воздуха и времени остывания  $T = 1350\text{ ч}$



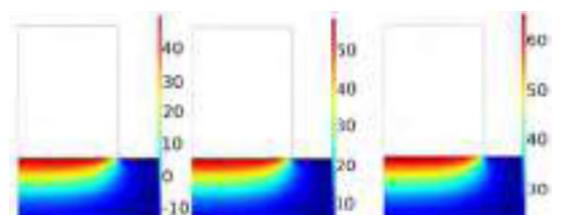
а)  $t_a = -20\text{ }^\circ\text{C}$     б)  $t_a = 0\text{ }^\circ\text{C}$     в)  $t_a = +20\text{ }^\circ\text{C}$

Рис. 3. Температурные поля мазута при различных значениях температуры наружного воздуха и времени остывания  $T = 2550\text{ ч}$



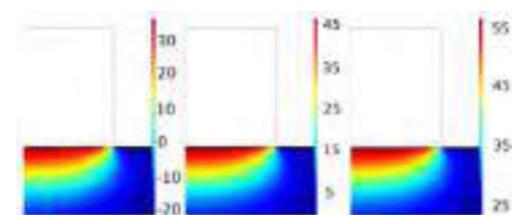
а)  $t_a = -20\text{ }^\circ\text{C}$     б)  $t_a = 0\text{ }^\circ\text{C}$     в)  $t_a = +20\text{ }^\circ\text{C}$

Рис. 4. Теплоотдача в грунт при различных значениях температуры наружного воздуха и времени остывания  $T = 300\text{ ч}$



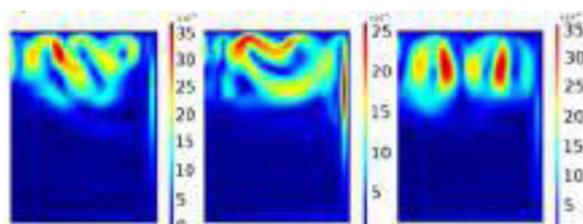
а)  $t_a = -20\text{ }^\circ\text{C}$     б)  $t_a = 0\text{ }^\circ\text{C}$     в)  $t_a = +20\text{ }^\circ\text{C}$

Рис. 5. Теплоотдача в грунт при различных значениях температуры наружного воздуха и времени остывания  $T = 1350\text{ ч}$



а)  $t_a = -20\text{ }^\circ\text{C}$     б)  $t_a = 0\text{ }^\circ\text{C}$     в)  $t_a = +20\text{ }^\circ\text{C}$

Рис. 6. Теплоотдача в грунт при различных значениях температуры наружного воздуха и времени остывания  $T = 2550\text{ ч}$



а)  $t_a = -20\text{ }^\circ\text{C}$     б)  $t_a = 0\text{ }^\circ\text{C}$     в)  $t_a = +20\text{ }^\circ\text{C}$

Рис. 7. Поля скорости мазута [м/с]

В результате численного моделирования была построена математическая модель и проведено исследование сопряженного теплообмена резервуара для хранения мазута с окружающей средой по средствам конвекции и теплопроводности, при различных значениях параметров окружающей среды и теплоотвода в грунт. Были установлены закономерности теплопереноса в рассматриваемой системе и получены температурные поля конвективного движения

мазута в резервуаре, поля теплоотода в грунт, а также поля распределения скорости движения мазута в разных частях резервуара.

При изменении температуры окружающей среды на величину от  $t_b = -20\text{ }^\circ\text{C}$  до  $t_b = 20\text{ }^\circ\text{C}$ , время остывания мазута варьируется от  $T = 1350\text{ ч}$  до  $T = 2550$ , когда при температуре наружного воздуха  $t_b = 0\text{ }^\circ\text{C}$ , время остывания мазута до  $t_m = 60\text{ }^\circ\text{C}$  составляет  $T = 1800$  часов.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Назмеев Ю.Г. Мазутные хозяйства ТЭС. – М.: Изд-во МЭИ, 2002. – 612 с.
2. Бирюлин Г.В. Теплофизические расчеты в конечно-элементном пакете COMSOL/FEMLAB. СПб.: СПбГУИТМО, 2006. – 89 с.
3. Оленев Н.М. Хранение нефти и нефтепродуктов. М.: Недра. – 1964. – 428 с.
4. Ляндю И.М. Эксплуатация мазутного хозяйства котельной промышленного предприятия. М.: Энергия. – 1968. – 151 с.

Научный руководитель: д.т.н. В.Ю. Половников, профессор НОЦ И.Н. Бутакова ИШЭ ТПУ.

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ НА ВЫХОДЕ ИЗ ПРОТОЧНОЙ ЁМКОСТИ

К.В. Колотилкина

Самарский государственный технический университет  
ТЭФ, ТОТиГ, 1-УПНК-1.2.2

В данной работе выполнена математическая модель системы автоматического регулирования управляющим объектом (разработана в среде Simulink математического пакета MATLAB 7.10).

Представленный объект (рисунок 1) состоит из резервуара (проточная ёмкость), фактически являющийся паровым водонагревателем. Условия протекающего процесса следующие: масса воды равна 100 кг, уровень – постоянный, температура воды (на входе) равна  $20\text{ }^\circ\text{C}$ , а массовый расход равен 40 кг/мин, а также принято, что температура воды (на выходе) равна нулю [5].

С помощью пропорционально-интегрального регулятора выполняется регулирование температуры за счет применения эффекта управления вследствие воздействия на показатель температуры методом изменения его значения. За счет изменения показателя расхода пара в змеевике обеспечивается постоянство температуры воды. Возмущающее воздействие заключается в изменении скорости потока воды при поступлении в комплекс, то есть изменение расхода.

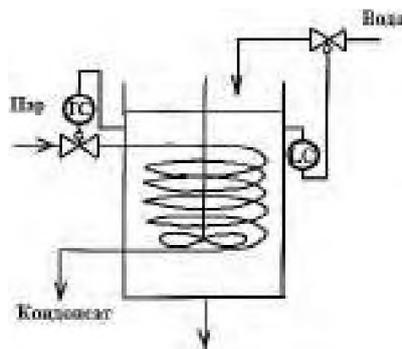


Рис. 1. Схема САП температуры