

УДК 004.94

*Русак С.Н., кандидат исторических наук, доцент
доцент кафедры «Систем управления и информационных технологий»
Северо-Кавказский федеральный университет (филиал в г. Пятигорске)*

*Потемкин Г.Б., студент магистратуры
Инженерный факультет
Северо-Кавказский федеральный университет (филиал в г. Пятигорске)*

*Русак А.С., студент магистратуры
Инженерный факультет
Северо-Кавказский федеральный университет (филиал в г. Пятигорске)*

*Самков А.И., студент магистратуры
Инженерный факультет
Северо-Кавказский федеральный университет (филиал в г. Пятигорске)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ ЦИСТЕРНЫ С БЕНЗИНОМ

Аннотация. В статье рассматривается моделирование процесса нагревания цистерны с топливом. В процессе нагрева под воздействием солнечных лучей и сезонных изменений температуры изменяется температура и объем топлива, что необходимо учитывать в технологических процессах. Данная математическая модель будет использована для построения компьютерной модели процесса нагревания объекта.

Ключевые слова: математическая модель, уравнение теплопроводности, нагревание бензина, начальные условия, граничные условия.

**Rusak S. N., PhD in History,
associate Professor Department of control in engineering systems
North-Caucasus Federal University (Branch in Pyatigorsk)**

**Potemkin G.B., Master's student
Engineering Faculty
North-Caucasus Federal University (Branch in Pyatigorsk)**

**Rusak A. S., Master's student
Engineering Faculty
North-Caucasus Federal University (Branch in Pyatigorsk)**

**Samkov A.I., Master's student
Engineering Faculty
North-Caucasus Federal University (Branch in Pyatigorsk)**

MODELING THE TEMPERATURE FIELDS OF A TANK WITH A PETROL

***Annotation:** The article discusses the modeling of the process of heating a fuel tank. In the process of heating under the influence of sunlight and seasonal temperature changes, the temperature and the volume of fuel change, which must be taken into account in technological processes. This mathematical model will be used to build a computer model of the process of heating an object.*

***Key words:** mathematical model, heat equation, gasoline heating, initial conditions, boundary conditions.*

На некоторых заправочных станциях цистерны с бензином находятся под открытым небом. Следовательно, они нагреваются солнечными лучами, а также происходит сезонное изменение температуры окружающей среды. Всё это приводит к изменению объема бензина в цистерне при том, что его масса сохраняется. Это необходимо учитывать при смешивании бензина, а также в процессе заправки транспортных средств. В связи с этим актуальным становится моделирование процесса нагревания бензина.

Составим математическую модель процесса нагревания. Поскольку цистерна с бензином является довольно сложным объектом, то процессы, происходящие в ней при нагревании, будем рассматривать отдельно для разных сред. Сначала опишем распространение тепла в стенках корпуса.

Схема цистерны с бензином приведена на рисунке 1.

Диаметр цистерны 20-25 метров, высота 10-12 метров.

Рассмотрим продольный разрез цистерны (рис. 2).

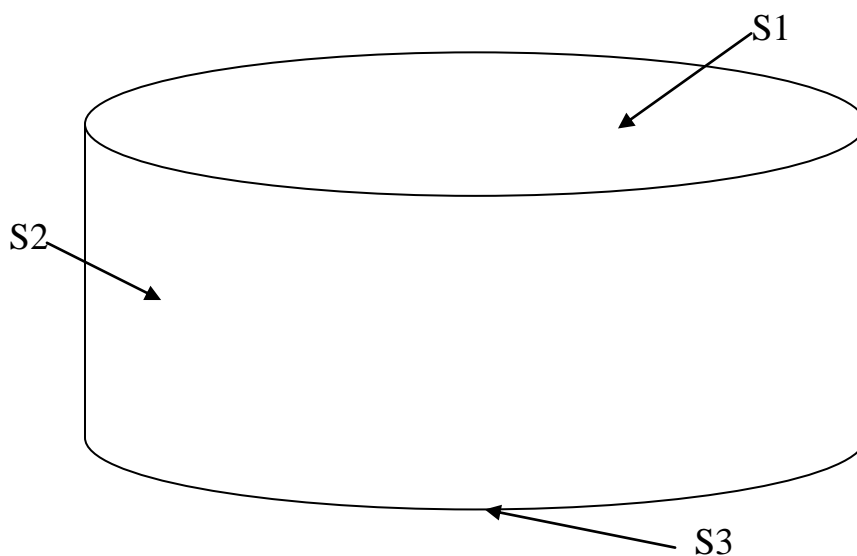


Рисунок 1 - Схема цистерны с бензином, установленной на АЗС

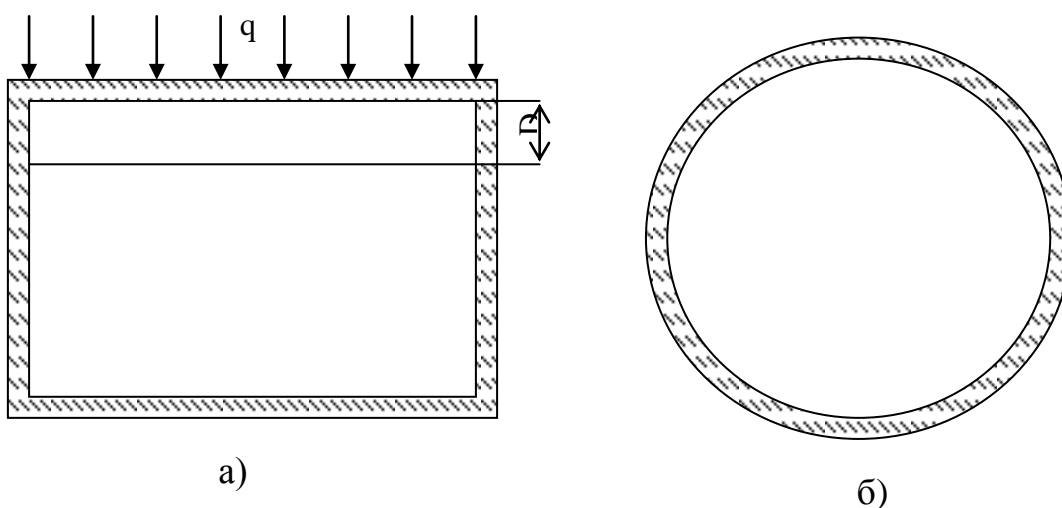


Рисунок 2. Разрез цистерны: а) вид сбоку; б) вид сверху без верхней стенки

Параметры объекта приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Параметры цистерны с бензином

Граничные условия			Параметры объекта		
S_1	S_2	S_3	$R[m]$	$H[m]$	$S [m]$
q	$t_1=20$	$t_2=0$	10	10	0,01

где q – тепловой поток; R – радиус цистерны; H – высота цистерны; S – толщина стенок.

Толщина листов стали, которые используются для внешней облицовки стенок корпуса (см. рисунок 2) составляет $s_l=0,01$ м=10 мм.

Сверху на цистерну воздействуют солнечные лучи (тепловой поток q), сбоку температуру можно считать равной температуре окружающей среды, снизу температуру можно считать $t_2=0^\circ\text{C}$, т.к. это температура почвы.

Теплофизические свойства материалов, используемых в цистерне, приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Теплофизические свойства материалов цистерны

Материал	$\lambda, \text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$	$a, \text{м}^2/\text{с}$
Сталь	20,112	0,000019
Бензин	0,12	0,000092
Воздух	0,059	0,0000040

Математически перенос тепла внутри твёрдого тела описывается дифференциальным уравнением теплопроводности :

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \left[\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right];$$

где : $T(x, y, z, t)$ – температурное поле; t - время; a - коэффициент температуропроводности материала;

В цилиндрических координатах уравнение выглядит следующим образом:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \cdot \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{1}{R} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} \right) \quad (1)$$

где: $0 < x < X_L$, $0 < r < R$, a – коэффициент температуропроводности;
 $T(x,r,\tau)$ – температурное поле цилиндра; τ – время.

Для получения математической модели объекта, соответствующей конкретной задаче, необходимо задание характеристик моделируемого объекта, граничных условий [2].

Рассмотрим процесс распространения тепла в стенках корпуса цистерны. Поясняющий чертёж корпуса цистерны представлен на рисунке 3.

Перенос тепла в стальном корпусе (рисунок 3) описывается уравнениями:

$$\frac{\partial T_1}{\partial \tau} = a_1 \cdot \left(\frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2} + \frac{1}{R} \cdot \frac{\partial T_1}{\partial r} + \frac{\partial^2 T_1}{\partial r^2} \right) \quad (1)$$

$$0 < x < H, R - S < r < R, \tau > 0,$$

$$\frac{\partial T_2}{\partial \tau} = a_1 \cdot \left(\frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2} + \frac{1}{R} \cdot \frac{\partial T_2}{\partial r} + \frac{\partial^2 T_2}{\partial r^2} \right) \quad (2)$$

$$H - s < x < H, 0 < r < R - S, \tau > 0,$$

$$\frac{\partial T_4}{\partial \tau} = a_1 \cdot \left(\frac{\partial^2 T_4}{\partial x^2} + \frac{1}{R} \cdot \frac{\partial T_4}{\partial r} + \frac{\partial^2 T_4}{\partial r^2} \right) \quad (3)$$

$$0 < x < S, 0 < r < R - S, \tau > 0,$$

a_1 – коэффициент температуропроводности стали; T_1, T_2, T_4 – температурное поле в стальных стенках цистерны; τ – время.

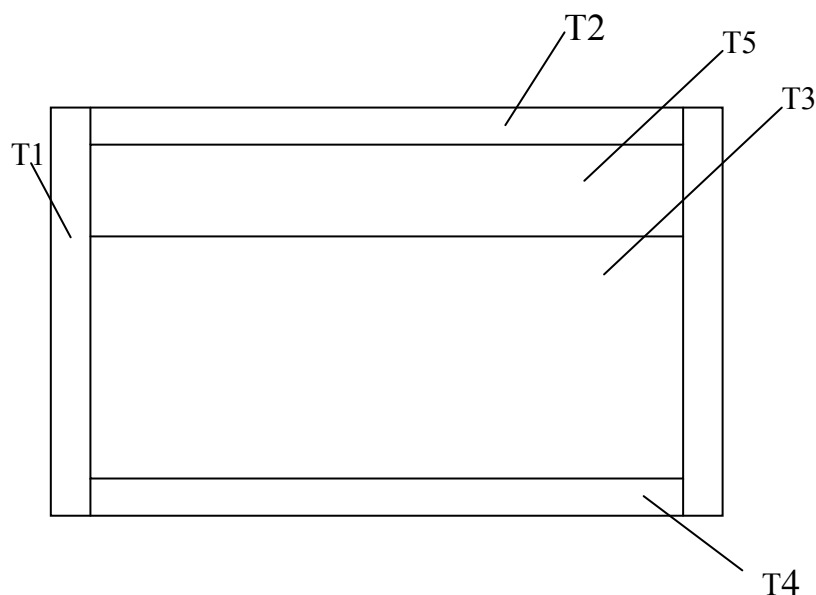


Рисунок 3 - Чертеж корпуса цистерны с обозначенными тепловыми полями

Перенос тепла в воздухе над поверхностью бензина описывается уравнением:

$$\frac{\partial T_5}{\partial \tau} = a_2 \cdot \left(\frac{\partial^2 T_5}{\partial x^2} + \frac{1}{R} \cdot \frac{\partial T_5}{\partial r} + \frac{\partial^2 T_5}{\partial r^2} \right) \quad (4)$$

$$H - S - D < x < H - S, \quad 0 < r < R - S, \quad \tau > 0,$$

a_2 – коэффициент температуропроводности воздуха; T_5 – температурное поле в стальных стенках цилиндра; τ – время.

Перенос тепла в бензине описывается уравнением:

$$\frac{\partial T_3}{\partial \tau} = a_3 \cdot \left(\frac{\partial^2 T_3}{\partial x^2} + \frac{1}{R} \cdot \frac{\partial T_3}{\partial r} + \frac{\partial^2 T_3}{\partial r^2} \right) \quad (5)$$

$$S < x < H - S - D, \quad 0 < r < R - S, \quad \tau > 0,$$

a_3 – коэффициент температуропроводности бензина; T_3 – температурное поле в стальных стенках цистерны; τ – время.

Положим, что в начальный момент времени температура во всех точках цистерны одинакова и равна температуре окружающей среды, т.е. 20 °С. Математически это условие выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned} T_i(x, r, 0) &= 20, \quad i = 1..n, \\ 0 \leq x \leq H, 0 \leq r \leq R. \end{aligned} \quad (6)$$

Запишем граничные условия для системы уравнений (1–5).

Рассмотрим граничные условия между стенками цистерны и окружающей средой (см. рисунок 3). Положим, что температура наружных поверхностей корпуса постоянна. При моделировании на ЭВМ будем считать, что она равна 20 °С. Граничные условия первого рода на наружных поверхностях корпуса выглядят следующим образом:

а) на границе дна корпуса и окружающей среды:

$$T_4(0, r, \tau) = 0, \quad 0 < r \leq R, \quad \tau > 0; \quad (7)$$

б) на границе боковой стенки корпуса и окружающей среды:

$$T_1(x, R, \tau) = 20, \quad 0 < x \leq H, \quad \tau > 0; \quad (8)$$

Передача тепла от воздуха к поверхности твёрдого тела происходит по закону теплопроводности, т.е. теплообмен соответствует граничным условиям четвёртого рода. Эти условия для границе стенок корпуса и воздуха внутри цистерны имеют вид:

1) условия равенства температур:

$$\begin{aligned} T_2(H - S, r, \tau) &= T_5(H - S, r, \tau), \\ 0 < r \leq R - S, \quad \tau > 0; \end{aligned} \quad (9)$$

2) условия равенства тепловых потоков:

$$\begin{aligned} \lambda_1 \frac{\partial T_2(H - S, r, \tau)}{\partial z} &= \lambda_2 \frac{\partial T_5(H - S, r, \tau)}{\partial z}, \\ 0 < r \leq R - S, \quad \tau > 0; \end{aligned} \quad (10)$$

где λ_1 – коэффициент теплопроводности стали, Вт/(м²С); λ_2 – то же для воздуха.

Аналогично описываются граничные условия между стенкой и бензином в цистерне. Условия равенства температур имеют вид:

$$\begin{aligned} T_1(x, R - S, \tau) &= T_3(x, R - S, \tau), \\ S < x \leq S + D, \quad \tau > 0; \end{aligned} \quad (11)$$

условия равенства тепловых потоков:

$$\lambda_1 \frac{\partial T_1(x, R-S, \tau)}{\partial z} = \lambda_3 \frac{\partial T_3(x, R-S, \tau)}{\partial z},$$

$$S < x \leq S + D, \tau > 0;$$
(12)

где λ_3 – коэффициент теплопроводности бензина, Вт/(м²С).

Входное воздействие на объект управления имеет вид:

$$\lambda_1 \frac{\partial T_2(H, r, \tau)}{\partial y} = q,$$

$$0 \leq r \leq R, \tau > 0.$$
(13)

Таким образом, в данной статье была поставлена математическая модель распространения тепла в цистерне с бензином. На следующих этапах будет выполнена дискретизация модели и реализована компьютерная модель нагревания топлива в данной емкости на языке Python [1]. Это позволит учитывать температуру топлива при смешивании бензина, а также в процессе заправки транспортных средств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дровосекова Т.И. Особенности моделирования процессов фильтрации на языке Python// Университетские чтения – 2017 Материалы научно-методических чтений ПГУ. 2017. С. 15-21.
2. Дровосекова Т.И., Рудакова Т.А., Цаплева В.В. Моделирование обогрева тепличных помещений с использованием геотермальных вод // Современная наука и инновации. 2018. № 1 (21). С. 8-14.
3. Дровосекова Т.И., Сизов С.Б., Русак С.Н. Моделирование тепловых процессов в резервуаре санитарной обработки гидроминерального сырья// Современная наука и инновации. 2017. № 3 (19). С. 67-73.
4. Жерносек И.А., Дровосекова Т.И. Программное обеспечение системы контроля микроклимата помещений// Современные методы интеллектуального анализа данных в экономических, гуманитарных и естественнонаучных исследованиях. Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, филиал в г. Пятигорске Ставропольского края. 2016. С. 334-342.

5. Ильюшин Ю.В. Основы теплопроводности твердых тел// Наука и инновации. 2011. Т. 15. С. 8.
6. Першин И.М., Кухарова Т.В. Описание многомерных объектов дифференциальным уравнением в частных производных // Системный синтез и прикладная синергетика. Сборник научных трудов VII Всероссийской научной конференции. 2015. С. 150-158.
7. Цаплева В.В., Сизов С.Б., Дровосекова Т.И. Система управления уровнем жидкости в резервуаре санитарной обработки гидроминерального сырья // Современная наука и инновации. 2017. № 2 (18). С. 39-43.
8. Чернышев А.Б. Исследование нелинейных распределенных систем управления температурными полями // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2004. № М. С. 57.