

**С. В. Ткачук, В. В. Борушко, В. И. Гладковский**  
(БрГТУ, Брест)

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАМЕРЗАНИЯ ВОДЫ С ПОМОЩЬЮ СРЕДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ COMSOL MULTIPHYSICS**

Для решения задачи моделирования процесса замерзания воды при различных внешних условиях применена среда моделирования COMSOL Multiphysics 5.2a, предназначенная для решения научных и технических проблем, основанных на дифференциальных уравнениях в частных производных.

В этой среде была построена модель ёмкости с водой, находящейся в морозильной камере.

Процесс распространения тепла по системе, определяется уравнением теплопроводности:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = k \left( \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right),$$

где  $\rho$  – плотность,  $C_p$  – теплоемкость,  $k$  – теплопроводность,  $T$  – температура.

Объём морозильной камеры принимался равным  $0,025 \text{ м}^3$ , масса воды  $0,4 \text{ кг}$ , масса стакана  $0,074 \text{ кг}$ .

Для рассматриваемой модели задавались следующие граничные условия:

1. Нижняя поверхность морозильной камеры находилась при стабильной температуре 257 К.
2. Начальная температура воды и стакана задавалась равной 293 К.
3. Начальная температура морозильной камеры задавалась равной 257 К.
4. На всех внешних поверхностях стакана и воды задавалось стандартное условие конвективного теплообмена:

$$q_0 = h(T_1 - T_2).$$

5. На границах между элементами задавалось условие непрерывности теплового потока:

$$\frac{\partial T}{\partial n} = \frac{\partial T_c}{\partial n}.$$

Результатом работы модели стало определение времени полного замерзания воды, которое оказалось равным 13680 с.