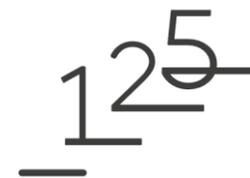


26 июня 2024 г.



# Моделирование температурного режима хранилищ под воздействием солнечного нагрева

Выполнила:

Студентка гр. 5030103/00301

Е.С. Шмакова

Руководитель:

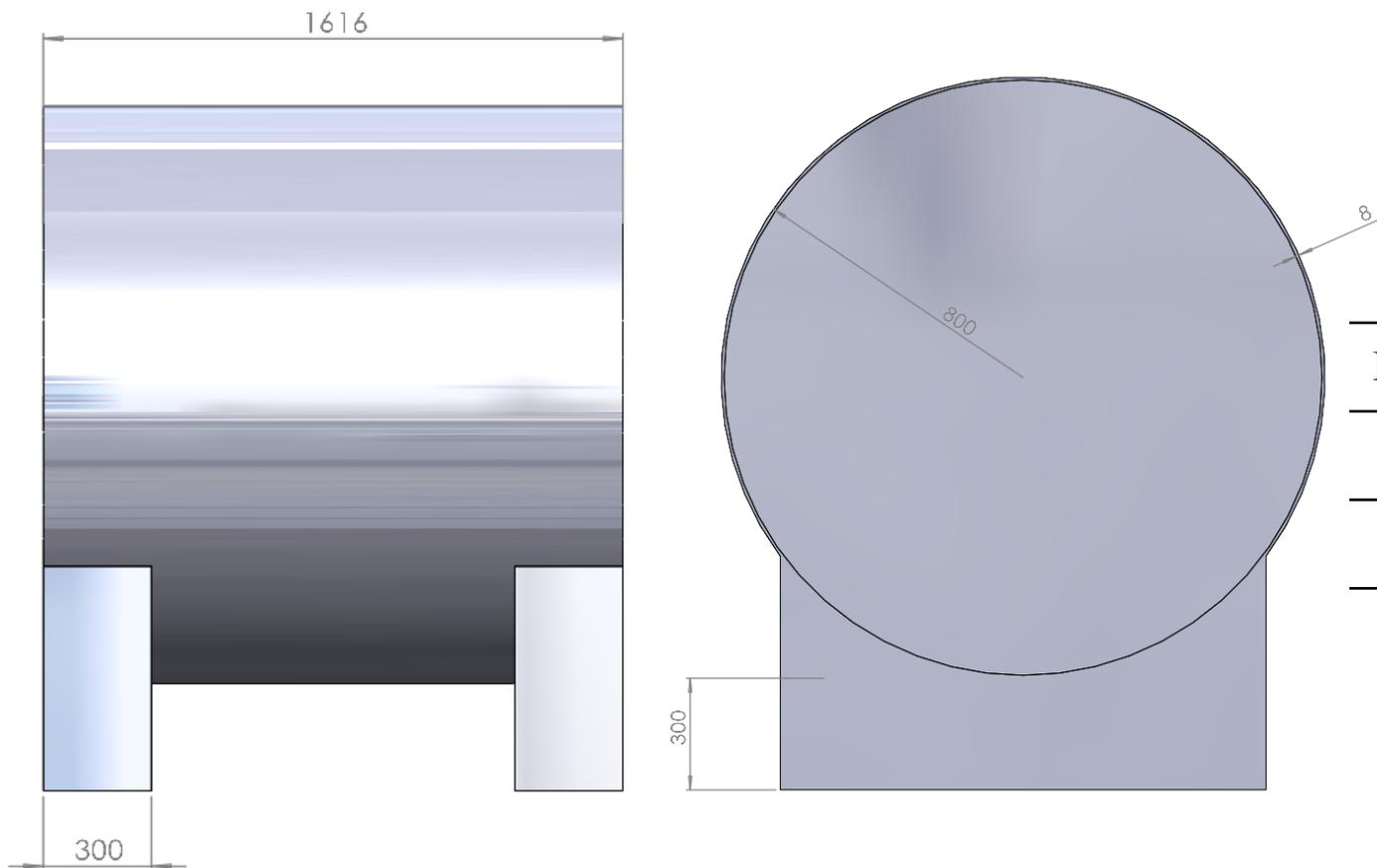
к.ф.-м.н.

К.П. Фролова

# АКТУАЛЬНОСТЬ И ЦЕЛЬ РАБОТЫ

- Актуальность - от соблюдения правильной температуры хранения зависит качество нефтепродуктов, их потери, а также безопасность.
- Цель - разработка математической модели, которая позволит оценить влияние защитного покрытия на значение температуры нефтепродукта в резервуаре. Данная модель будет учитывать такие факторы, как геометрия резервуара, свойства материала стенок, интенсивность солнечного теплового потока, конвекция, а также теплопередача через стенки резервуара.
- Результаты данного исследования могут быть полезными для инженеров и проектировщиков, занимающихся разработкой и эксплуатацией резервуаров для нефтепродуктов, а также для компаний, занимающихся производством и хранением нефтепродуктов.

# ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

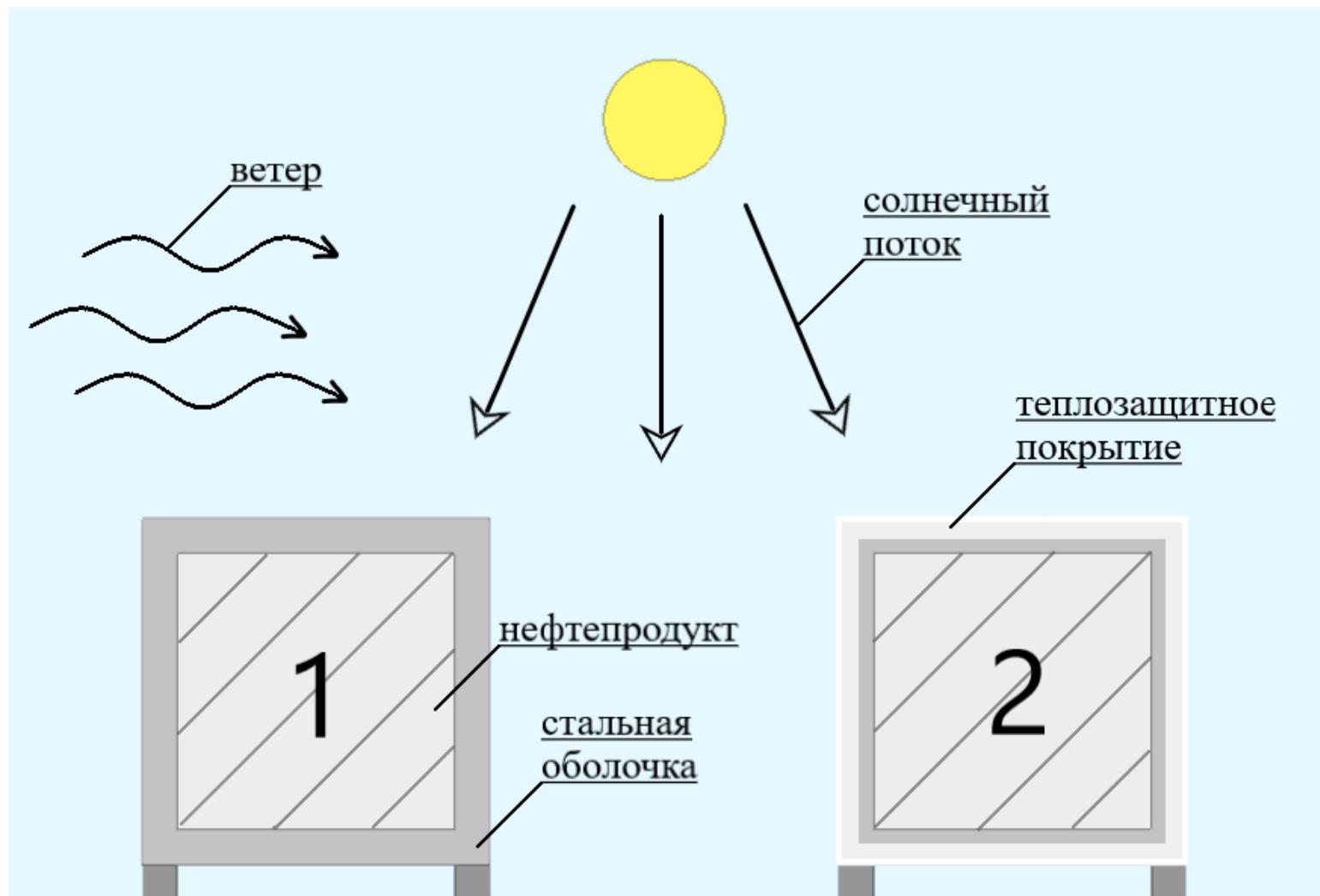


*РГСН-5.*

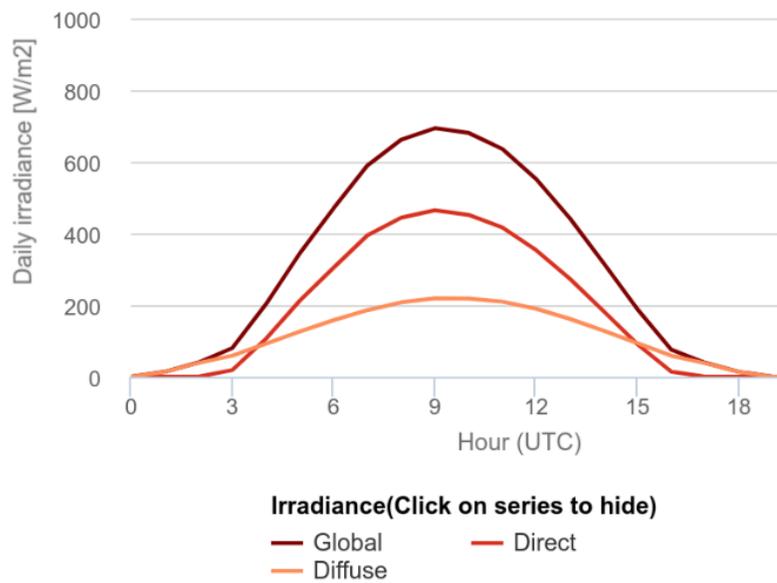
## Параметры РГСН-5

<b>Длина резервуара, мм</b>	1616
<b>Внутренний диаметр, мм</b>	1600
<b>Внешний диаметр, мм</b>	1616
<b>Толщина стенки, мм</b>	8
<b>Толщина, высота, ширина ножек, мм</b>	300

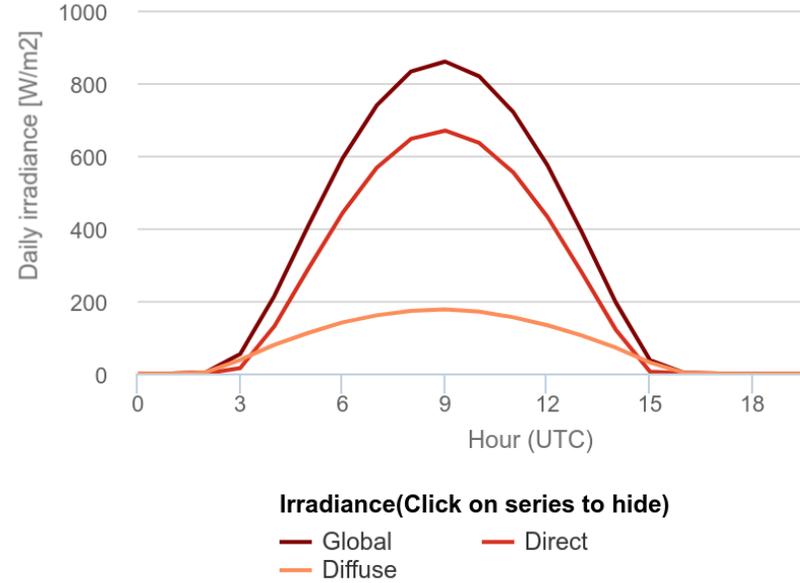
# ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ



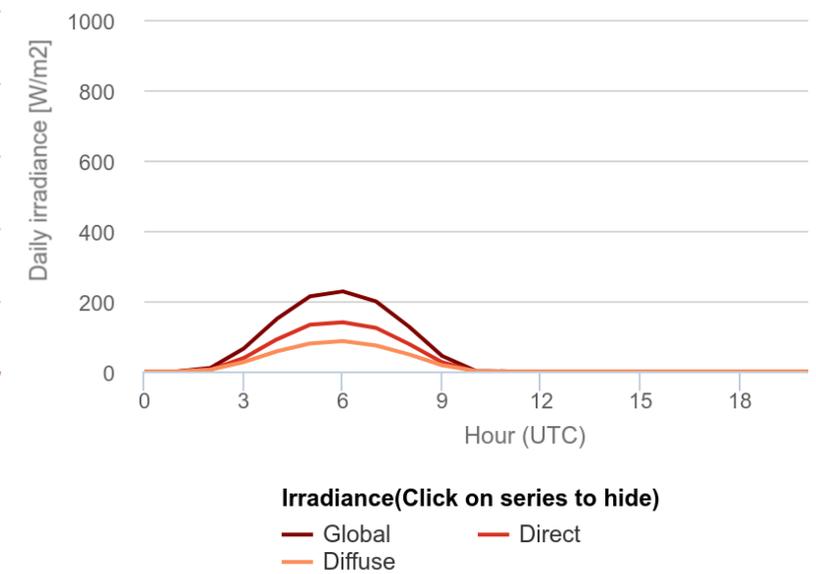
# ВНЕШНИЕ ТЕПЛОВЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ



*Дневной радиационный  
профиль в Санкт-Петербурге в  
июне.*

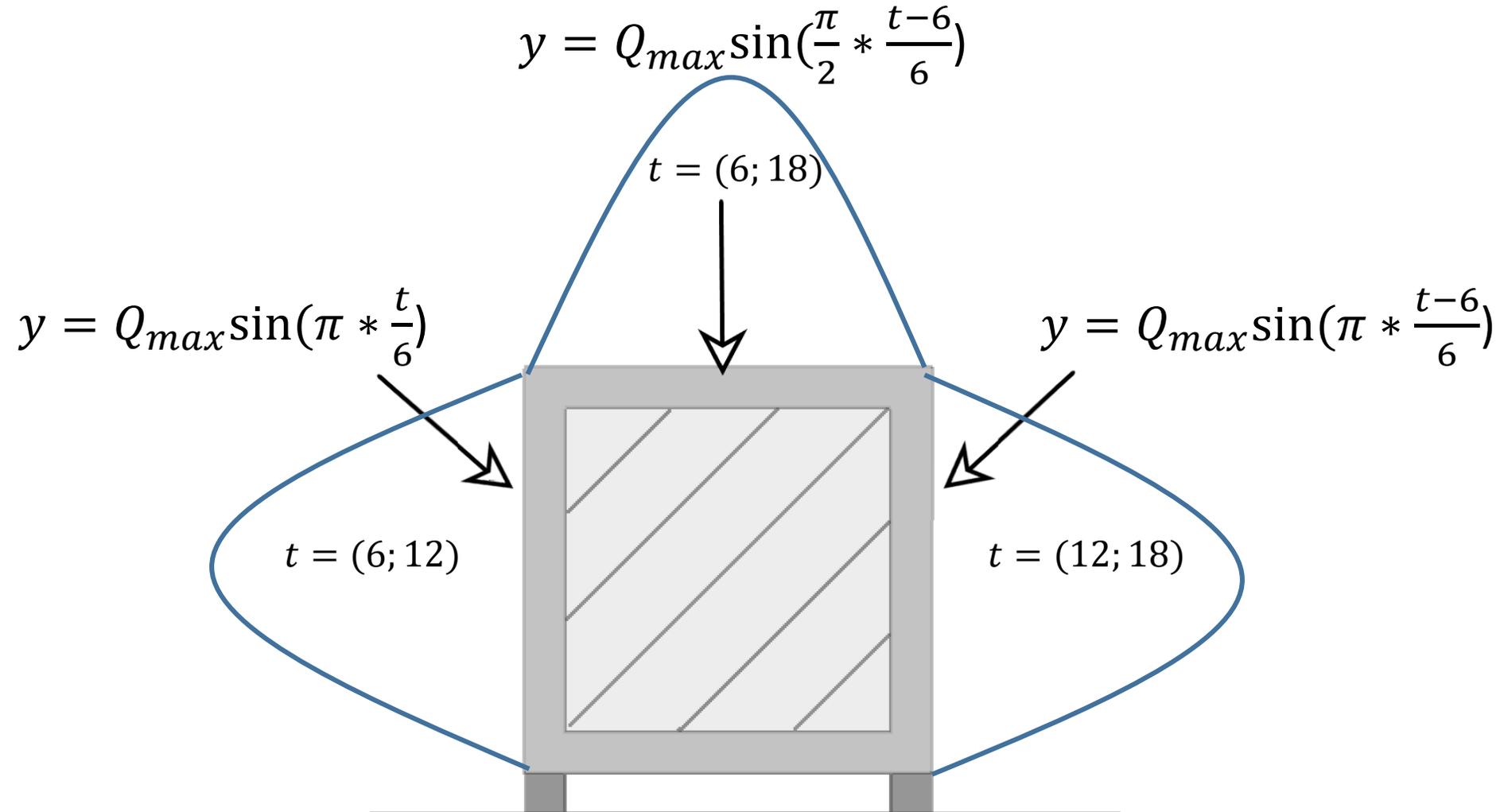


*Дневной радиационный  
профиль в Сочи в августе.*



*Дневной радиационный  
профиль в Норильске в  
феврале.*

# ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ. СОЛНЕЧНЫЙ ПОТОК



# ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[ \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right] \quad (1)$$

$T = T(x, y, t)$  — температура;

$\rho$  — плотность среды;

$C_p$  — коэффициент удельной теплоемкости;

$\lambda$  — коэффициент теплопроводности;

# ГРАНИЧНЫЕ УСЛОВИЯ

КОНВЕКТИВНЫЙ ТЕПЛОВОЙ ПОТОК:

$$q|_s = \alpha(T_\infty - T|_s) \quad (2)$$

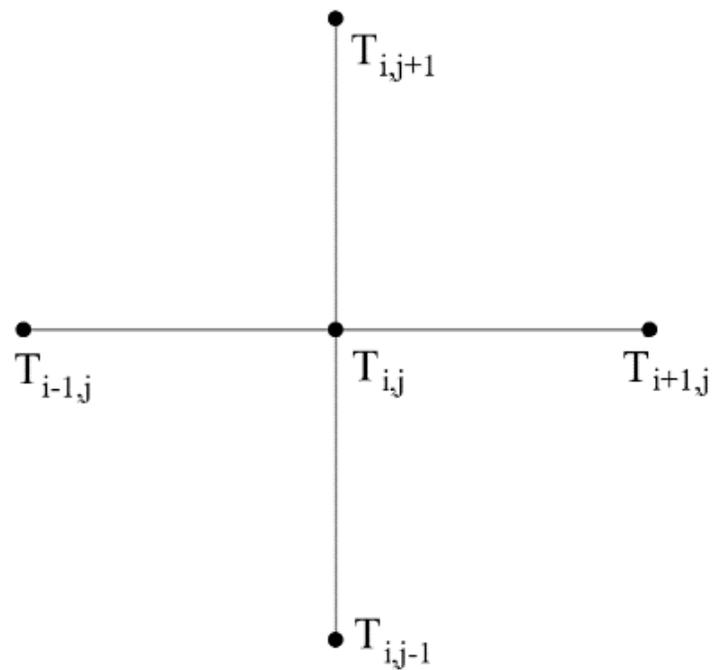
СОЛНЕЧНЫЙ ТЕПЛОВОЙ ПОТОК:

$$q|_s = q_{\text{солн}} \quad (3)$$

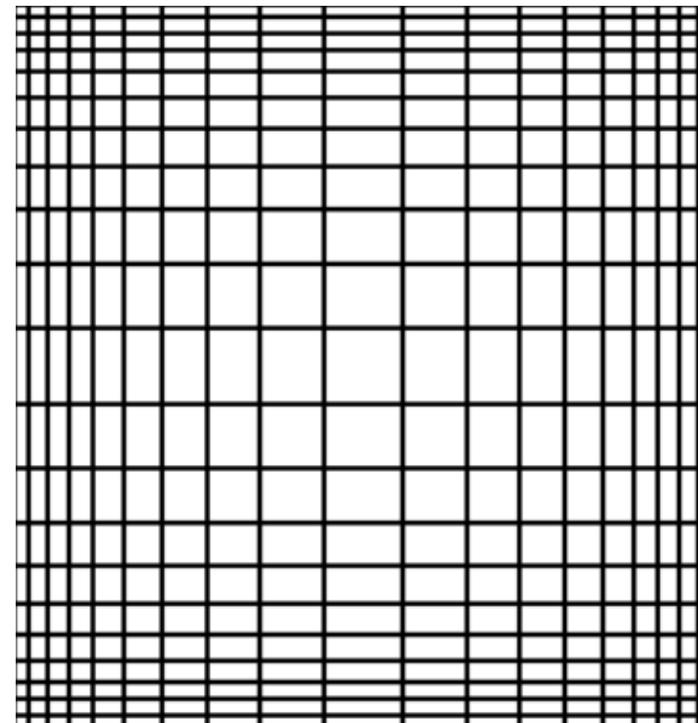
КОМПЛЕКСНОЕ ТЕПЛОВОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ:

$$q|_s = \alpha(T_\infty - T|_s) + q_{\text{солн}} \quad (4)$$

# РАЗНОСТНАЯ СЕТКА



*Узлы.*



*Неравномерная сетка при  $q=1.2$ .*

# ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[ \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right]$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho C_p \frac{T^{n+\frac{1}{2}} - T^n}{\Delta t} = \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \frac{\partial T^{n+\frac{1}{2}}}{\partial x} \right) + \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda \frac{\partial T^n}{\partial y} \right) \\ \rho C_p \frac{T^{n+1} - T^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta t} = \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \frac{\partial T^{n+\frac{1}{2}}}{\partial x} \right) + \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda \frac{\partial T^{n+1}}{\partial y} \right) \end{array} \right. \quad (5)$$

## РЕШЕНИЕ. МЕТОД ПРОГОНКИ

$$\begin{cases} -c_0 y_0 + b_0 y_1 = -f_0 \\ a_i y_{i-1} - c_i y_i + b_i y_{i+1} = -f_i, & 1 \leq i \leq N - 1; \\ a_N y_{N-1} - c_N y_N = -f_N \end{cases} \quad (6)$$

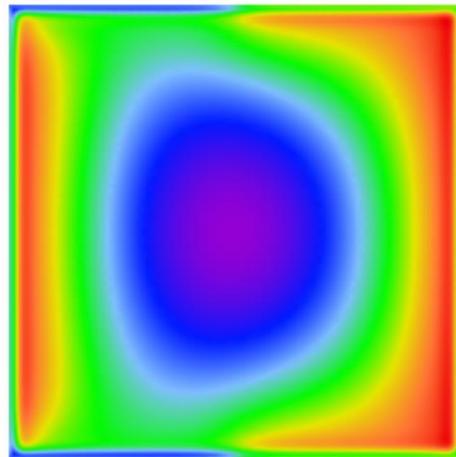
$$\alpha_1 = \frac{b_0}{c_0}, \quad \beta_1 = \frac{f_0}{c_0}; \quad (7)$$

$$\alpha_{i+1} = \frac{b_i}{c_i - a_i \alpha_i}, \quad \beta_{i+1} = \frac{a_i \beta_i + f_i}{c_i - a_i \alpha_i}, \quad i = 1, 2, \dots, N - 1; \quad (8)$$

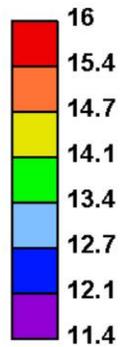
$$y_N = \frac{\alpha_N y_N + f_N}{c_N - a_N \alpha_N}, \quad y_i = \alpha_{i+1} y_{i+1} + \beta_{i+1}, \quad i = N - 1, N - 2, \dots, 0; \quad (9)$$

$$|a_i| + |b_i| \leq |c_i| \quad (10)$$

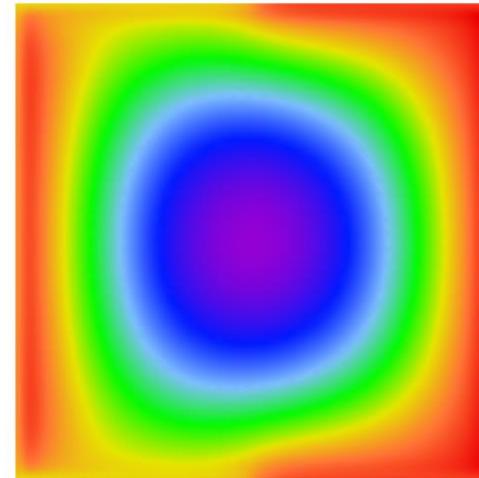
# РЕЗУЛЬТАТЫ УПРОЩЁННОЙ МОДЕЛИ



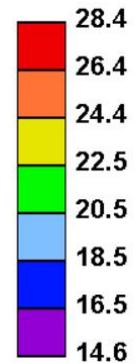
Temperature



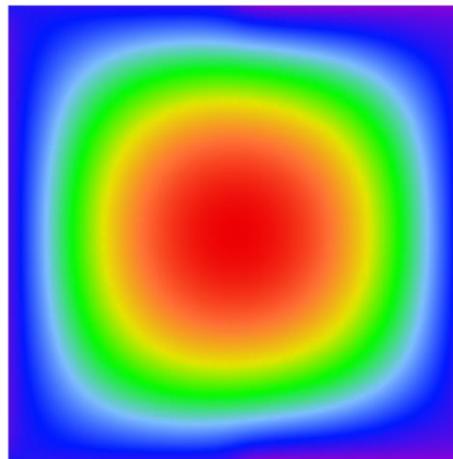
*Санкт-Петербург*



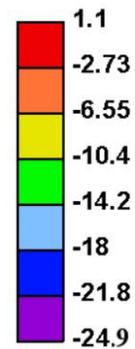
Temperature



*Сочи*

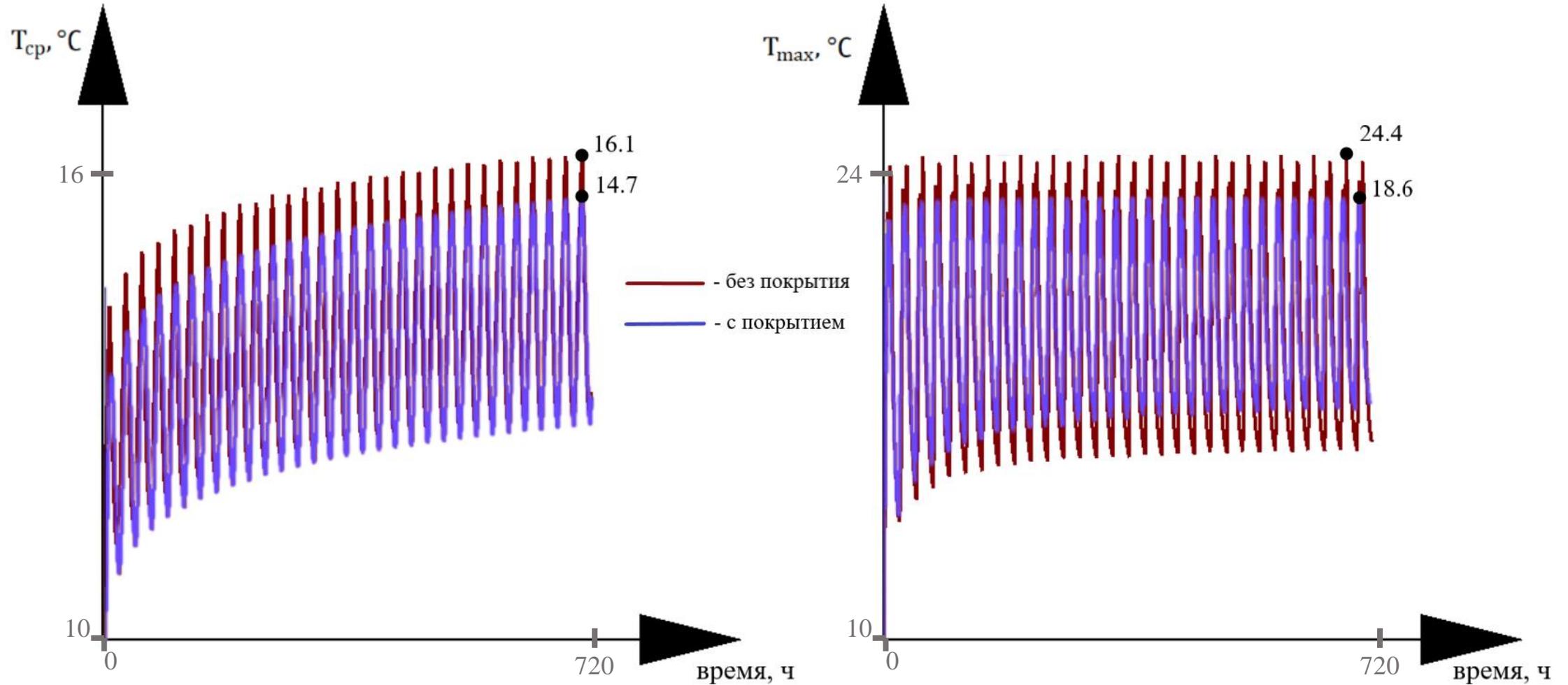


Temperature



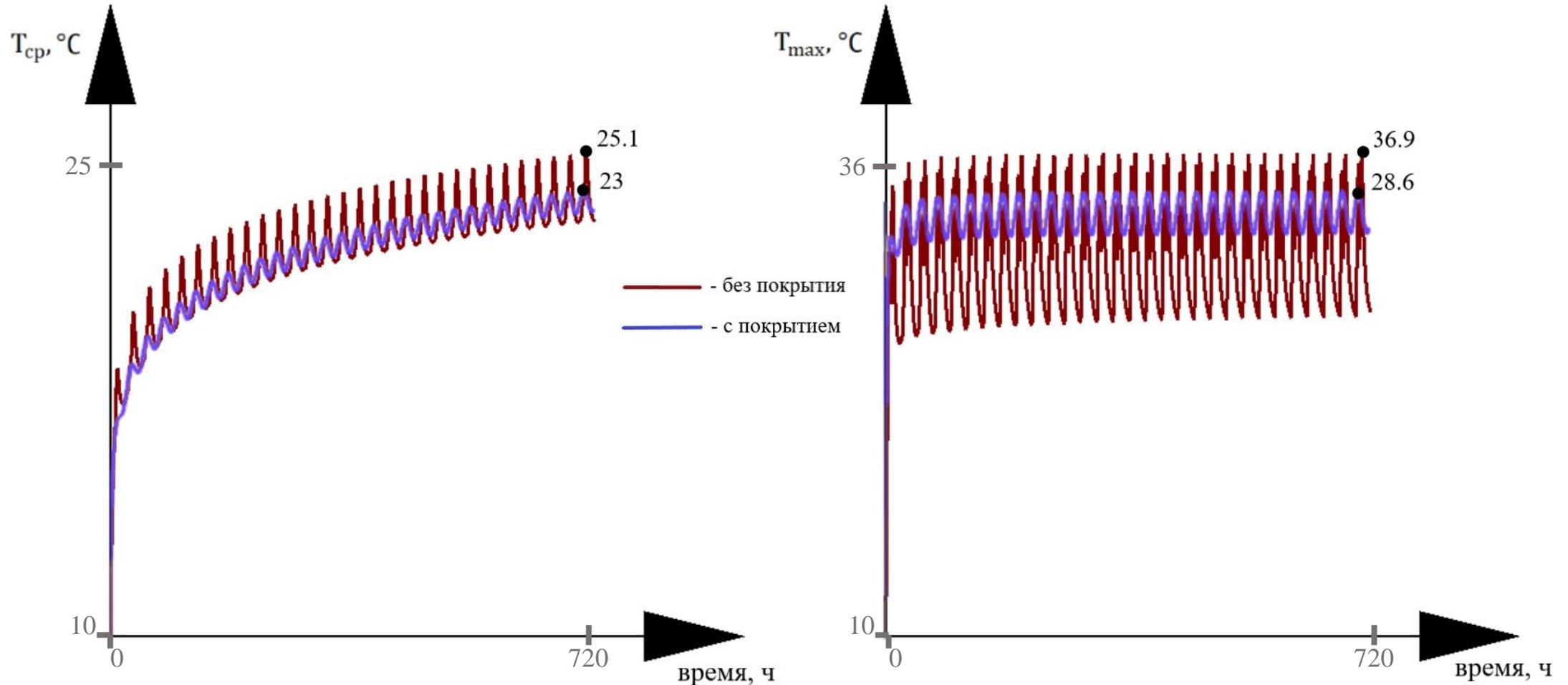
*Норильск*

# ВЛИЯНИЕ ПОКРЫТИЯ (СПб)



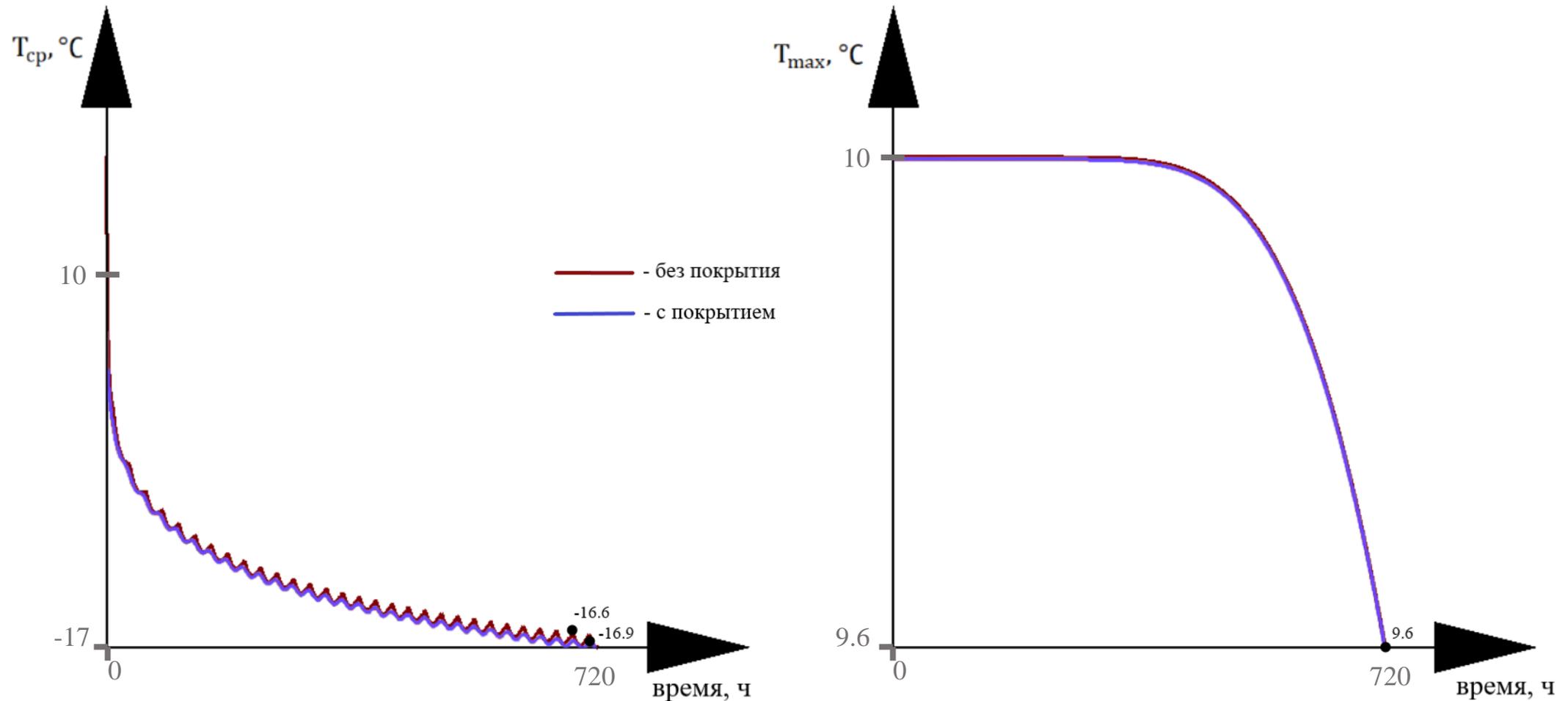
Графики средней и максимальной температуры за месяц в Санкт-Петербурге для модели с отражающим покрытием и без.

# ВЛИЯНИЕ ПОКРЫТИЯ (Сочи)



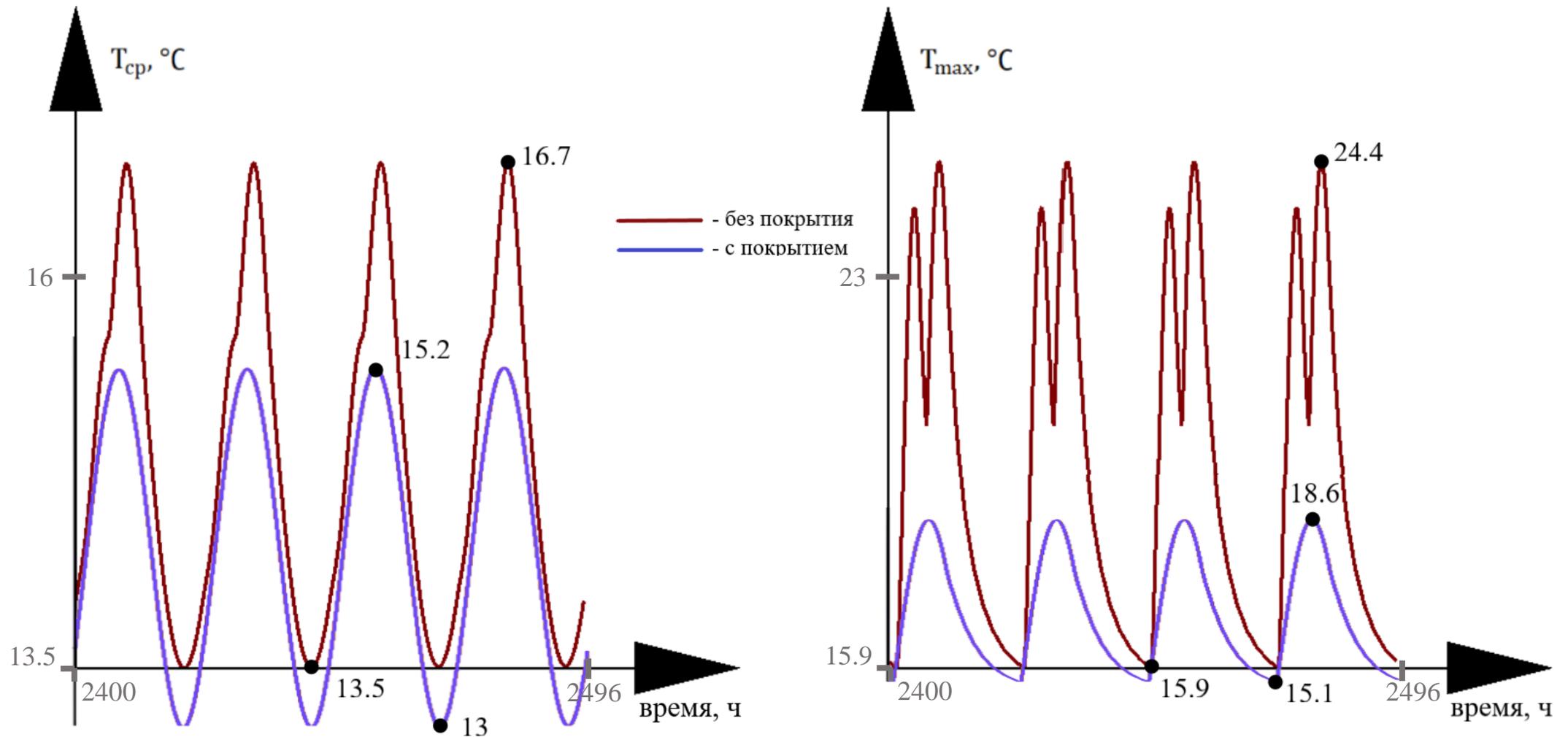
Графики средней и максимальной температуры за месяц в Сочи для модели с отражающим покрытием и без.

# ВЛИЯНИЕ ПОКРЫТИЯ (Норильск)

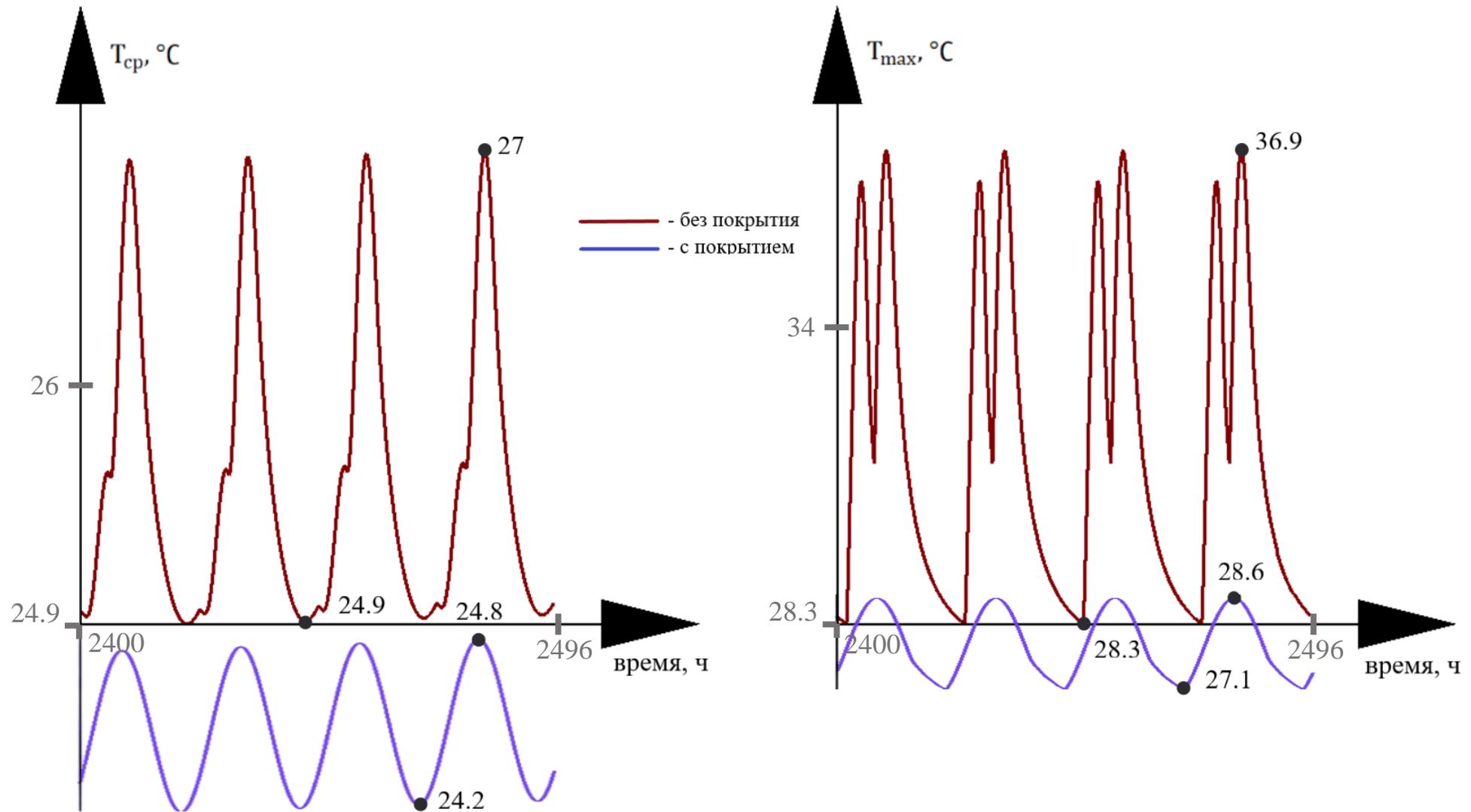


Графики средней и максимальной температуры за месяц в Норильске для модели с отражающим покрытием и без.

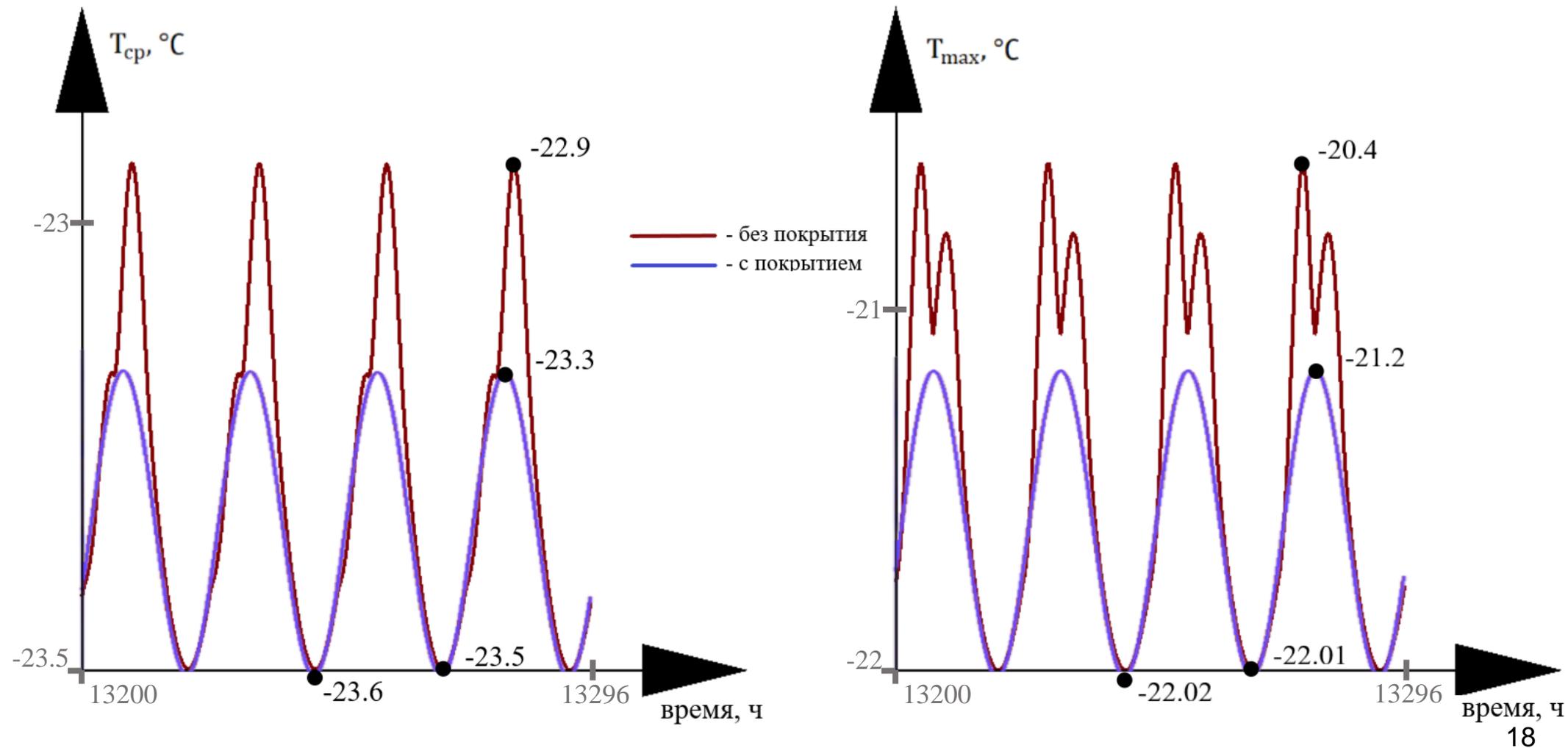
# ВЛИЯНИЕ ПОКРЫТИЯ. СТАЦИОНАРНЫЙ РЕЖИМ (СПб)



# ВЛИЯНИЕ ПОКРЫТИЯ. СТАЦИОНАРНЫЙ РЕЖИМ (Сочи)



# ВЛИЯНИЕ ПОКРЫТИЯ. СТАЦИОНАРНЫЙ РЕЖИМ (Норильск)



# СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

$T_{\text{вспышки}} = 35 \text{ }^{\circ}\text{C}$   
 $T_{\text{застывания}} = -20 \text{ }^{\circ}\text{C}$

	Без покрытия	С покрытием
$T_{\text{max}}$ в Санкт-Петербурге, $^{\circ}\text{C}$	24.4	18.6
Отклонение от $T_{\text{вспышки}}$ , %	—	—
$T_{\text{max}}$ в Сочи, $^{\circ}\text{C}$	36.9	28.6
Отклонение от $T_{\text{вспышки}}$ , %	5.4%	—
$T_{\text{min}}$ в Норильске, $^{\circ}\text{C}$	-24.9	-25.7
Отклонение от $T_{\text{застывания}}$ , %	24.5%	28.5%

# ВЫВОДЫ

- Разработана математическая модель с учетом геометрии резервуара, свойств материала стенок, интенсивности солнечного теплового потока, конвекции, а также теплопередачи через стенки резервуара.
- Произведено сравнение результатов для двух постановок.
- Была дана оценка использования защитного покрытия.

# ПЕРСПЕКТИВЫ

- Уточнение параметров резервуара.
- Точные данные нефти.
- Учёт изменения коэффициента теплоёмкости и коэффициента теплопроводности.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

