



# ТАТАРСТАНСКИЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ ПО ЭНЕРГЕТИКЕ И ЭНЕРГОРЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТИ



Круглый стол «Энергоэффективность и энергосбережение в строительной отрасли: от цифровой модели к реальному объекту»

## Моделирование тепловых потоков через ограждения в грунте

Крайнов Дмитрий Владимирович  
к.т.н., доцент  
КГАСУ /Казань/

Гагарин Владимир Геннадьевич  
д.т.н., профессор  
НИИСФ /Москва/

2024 г.

Можно ли применять методику расчета удельных потерь теплоты через неоднородности конструкций, заглубленных в грунт?

Существующий инженерный метод расчета теплотерь подземной части здания не учитывает тепловой режим грунта, его точность **МОЖНО ПОВЫСИТЬ.**

1. Малявина Е.Г., Гнездилова Е.А., Левина Ю.Н., Расчет теплотерь через полы по грунту в зданиях с современной теплозащитой // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2019. (18). С. 60-62.
2. Kenichi S., Terrington R. L., Influence of geology and hydrogeology on heat rejection from residential basements in urban areas // Tunnelling and Underground Space Technology. 2019

$$R_o^{np} = \frac{1}{\sum a_i U_i + \sum l_j \Psi_j + \sum n_k \chi_k}$$

$$\Psi_j = \frac{Q_j^L - Q_j}{t_B - t_H}$$

# Цель и задачи работы

## Цель работы:

исследование нестационарного теплового режима заглубленных в грунт конструкций, определение факторов, влияющих на теплопотери

## Задачи:

1. численные расчеты стены и угла в грунте
2. поиск климатических данных
3. натурное исследование теплового режима стены в грунте

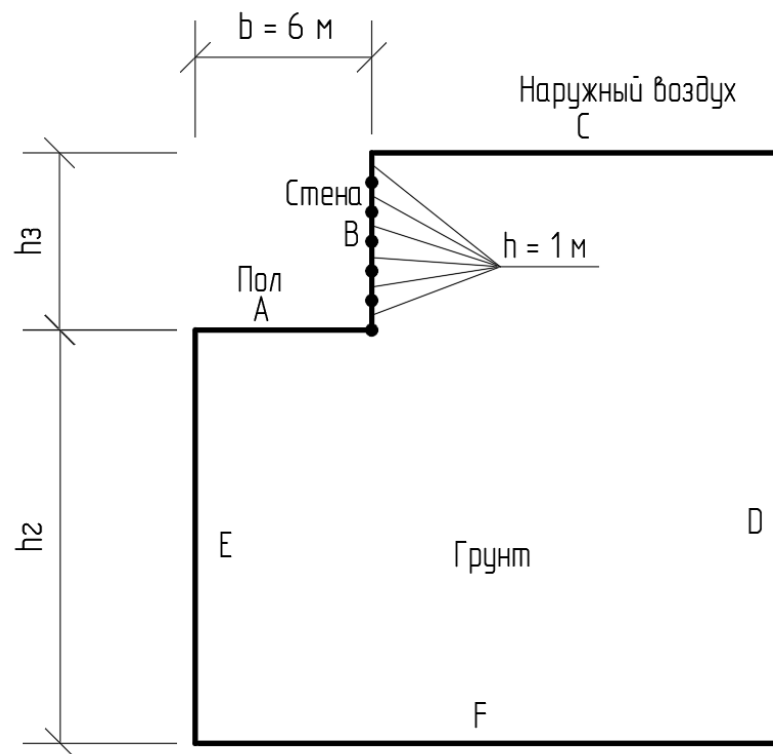
# 1. Численный эксперимент

На границах D, E приняты адиабатные условия ( $q=0$  Вт/м<sup>2</sup>)

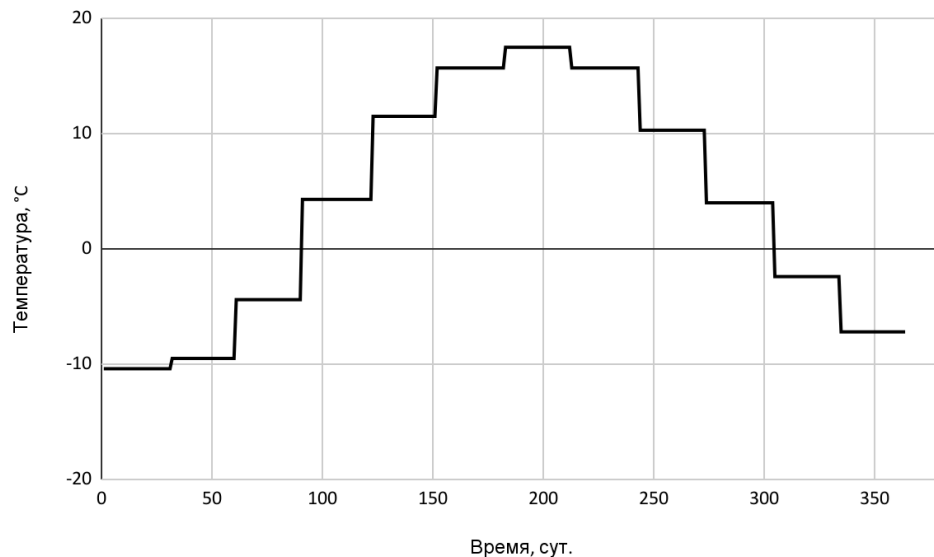
Температура на нижней границе расчетной модели (граница F) принята постоянной и равной средней за год.

Температура воздуха в помещении  $+12$  °С

Нестационарный процесс теплопередачи моделировался для периода 8 лет



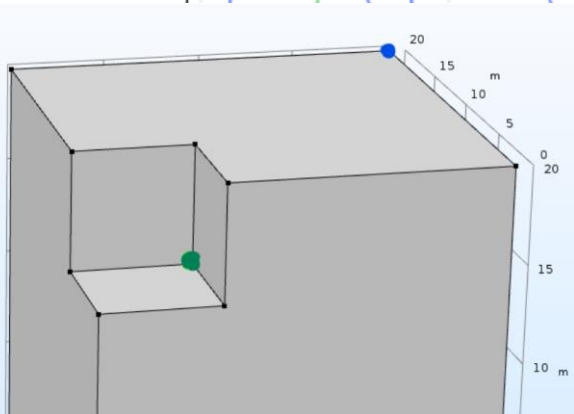
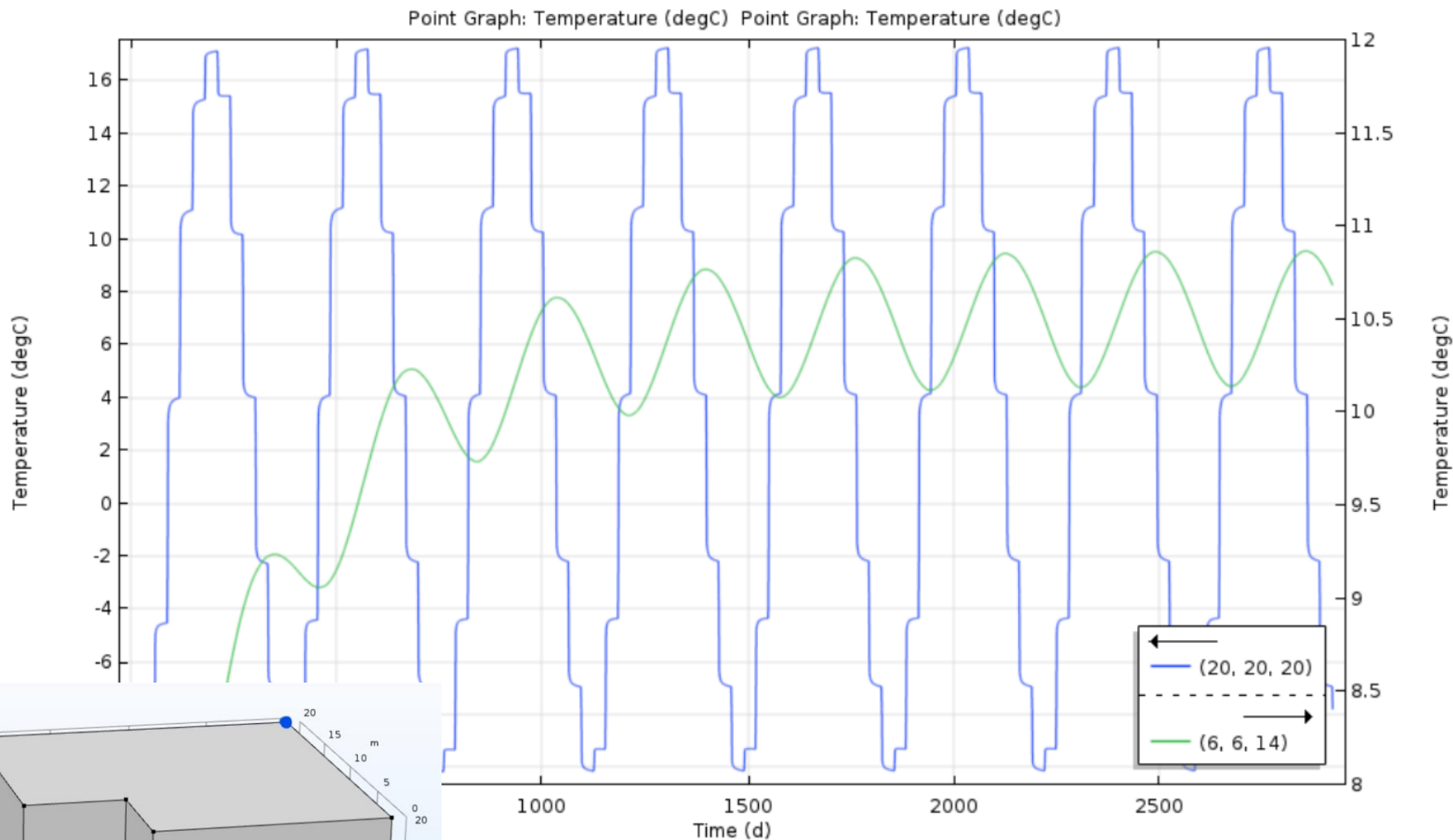
# Граничные условия



Проведен расчет для грунтов с различными теплофизическими характеристиками и различной высотой стены в грунте

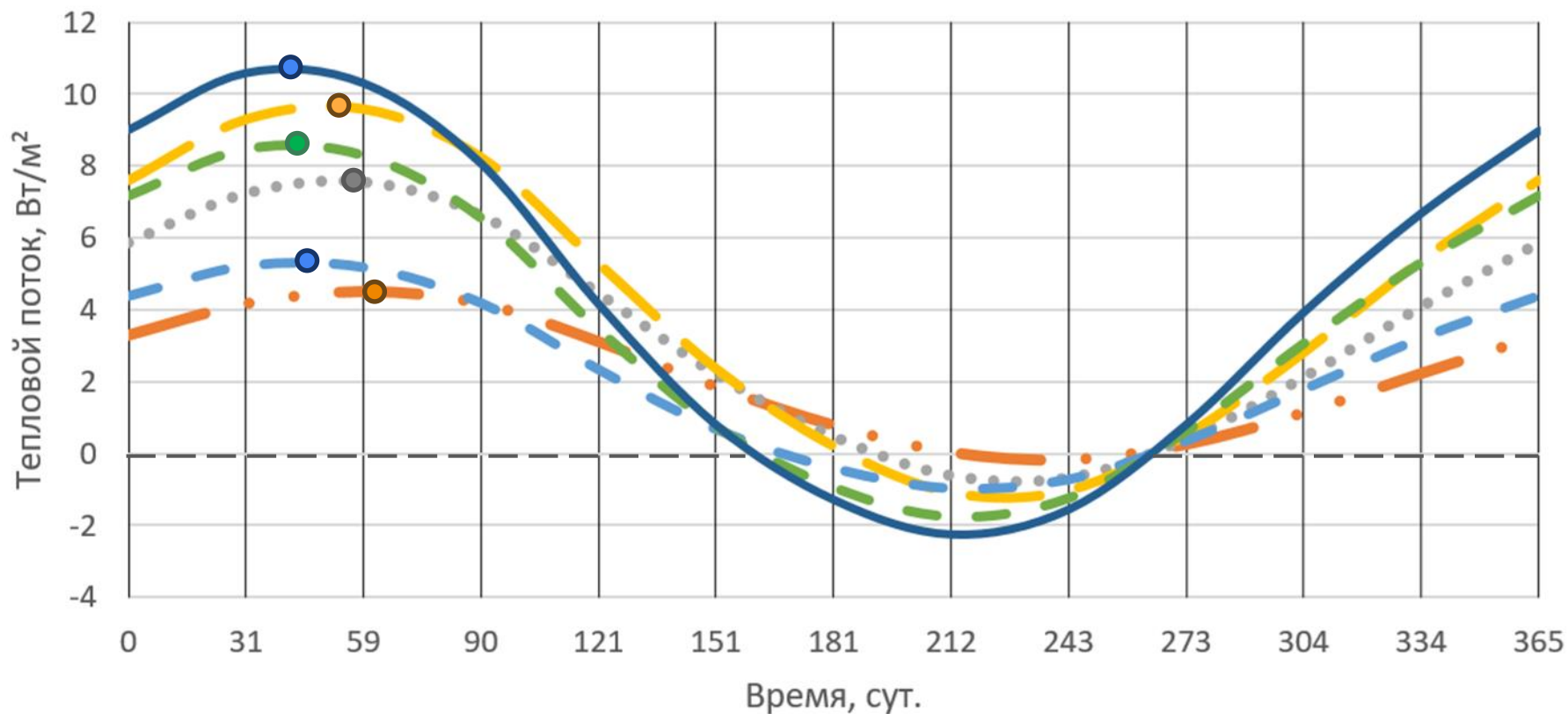
	Теплопроводность Вт/м·°C	Плотность кг/м <sup>3</sup>	Теплоемкость Дж/(кг·°C)	Температуро- проводность м <sup>2</sup> /с
Грунт 1	1	1840	840	$0,647 \cdot 10^{-6}$
Грунт 2	1,6	1840	840	$1,035 \cdot 10^{-6}$
Грунт 3	2	1840	840	$1,294 \cdot 10^{-6}$
Грунт 4	1	1000	350	$2,857 \cdot 10^{-6}$
Грунт 5	1,6	1000	350	$4,571 \cdot 10^{-6}$
Грунт 6	2	1000	350	$5,714 \cdot 10^{-6}$

# Начальные условия



# Сравнение грунтов

## Тепловые потоки на глубине 3 м в течении года

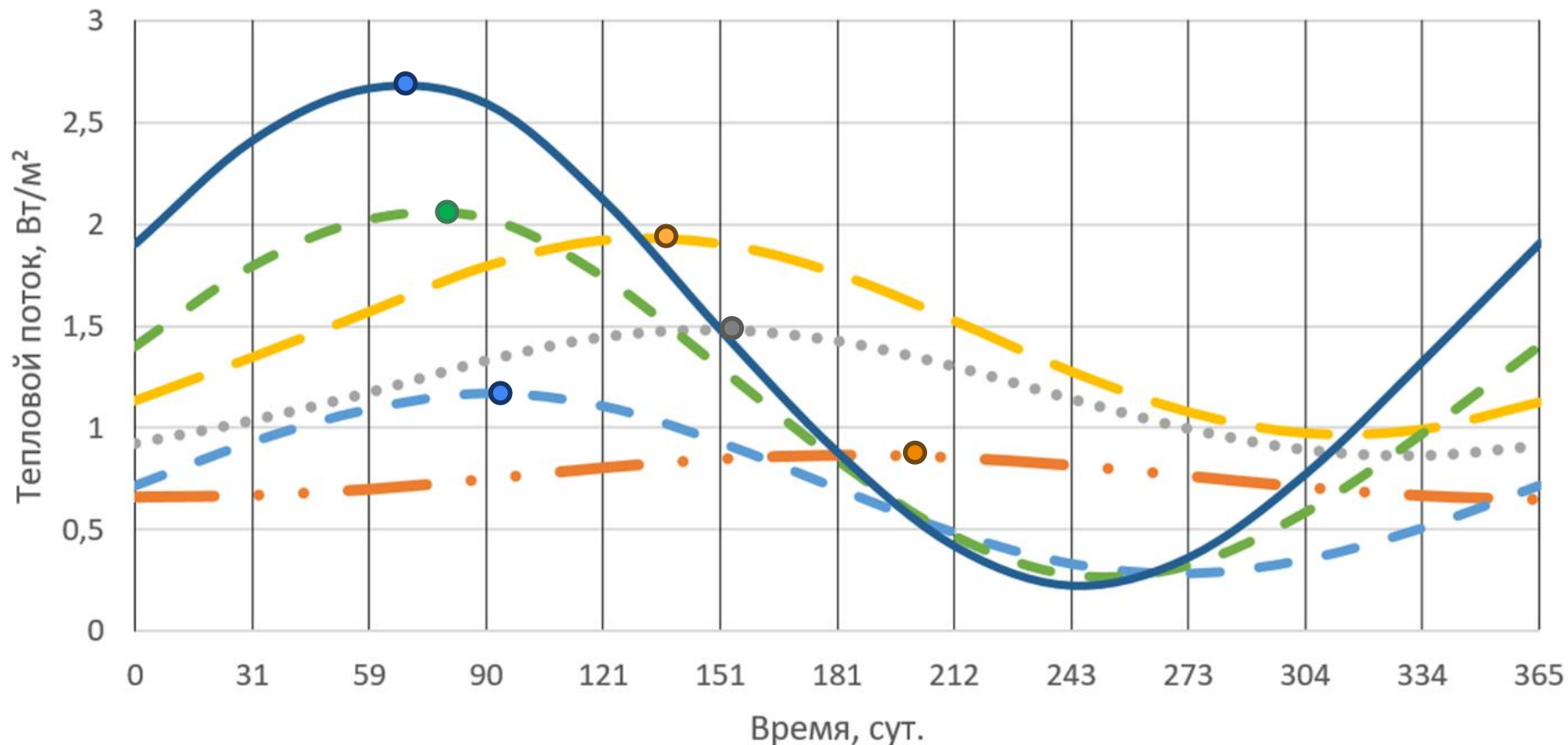


Грунт 1   Грунт 2   Грунт 3   Грунт 4   Грунт 5   Грунт 6



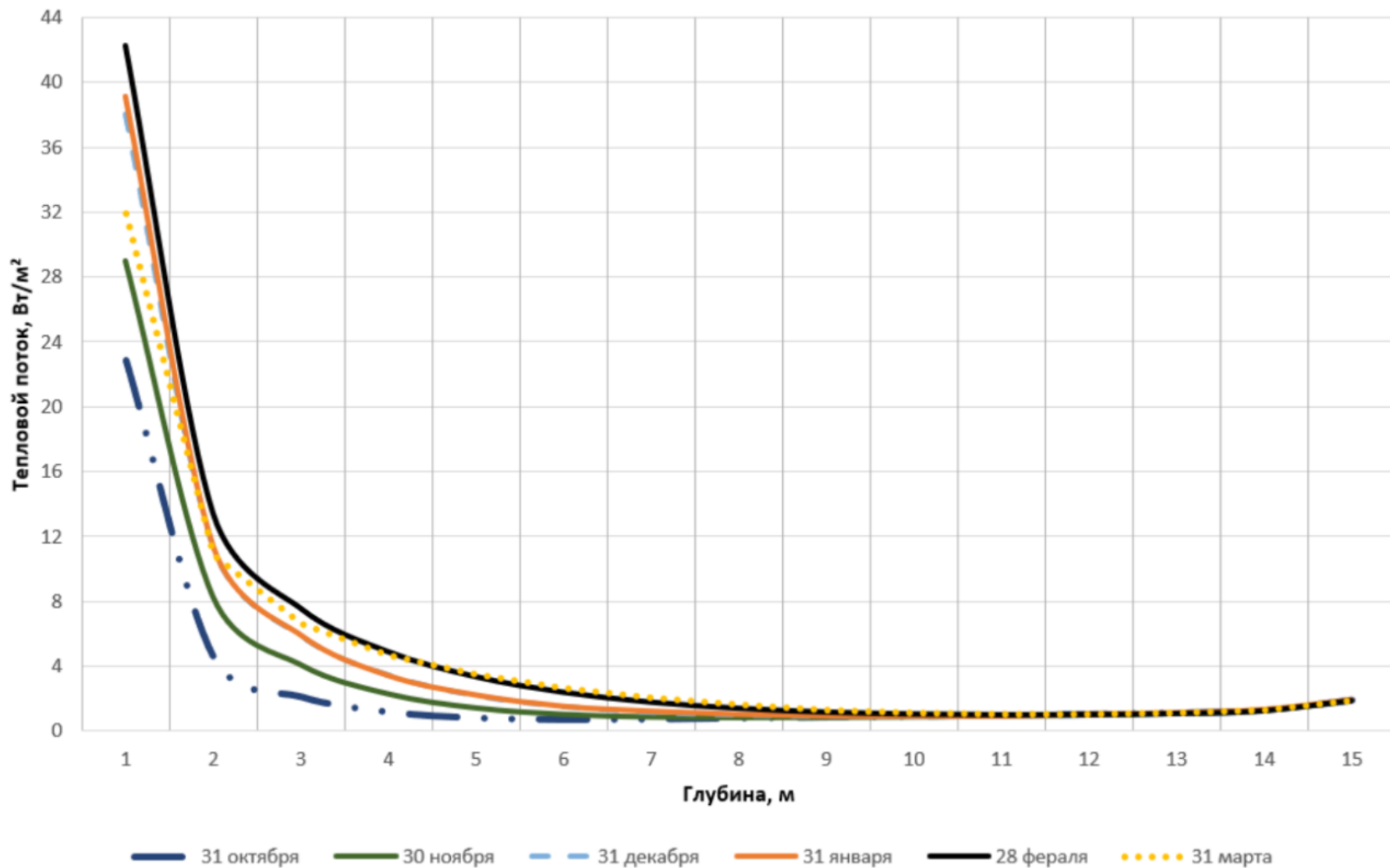
# Сравнение грунтов

## Тепловые потоки на глубине 9 м в течение года

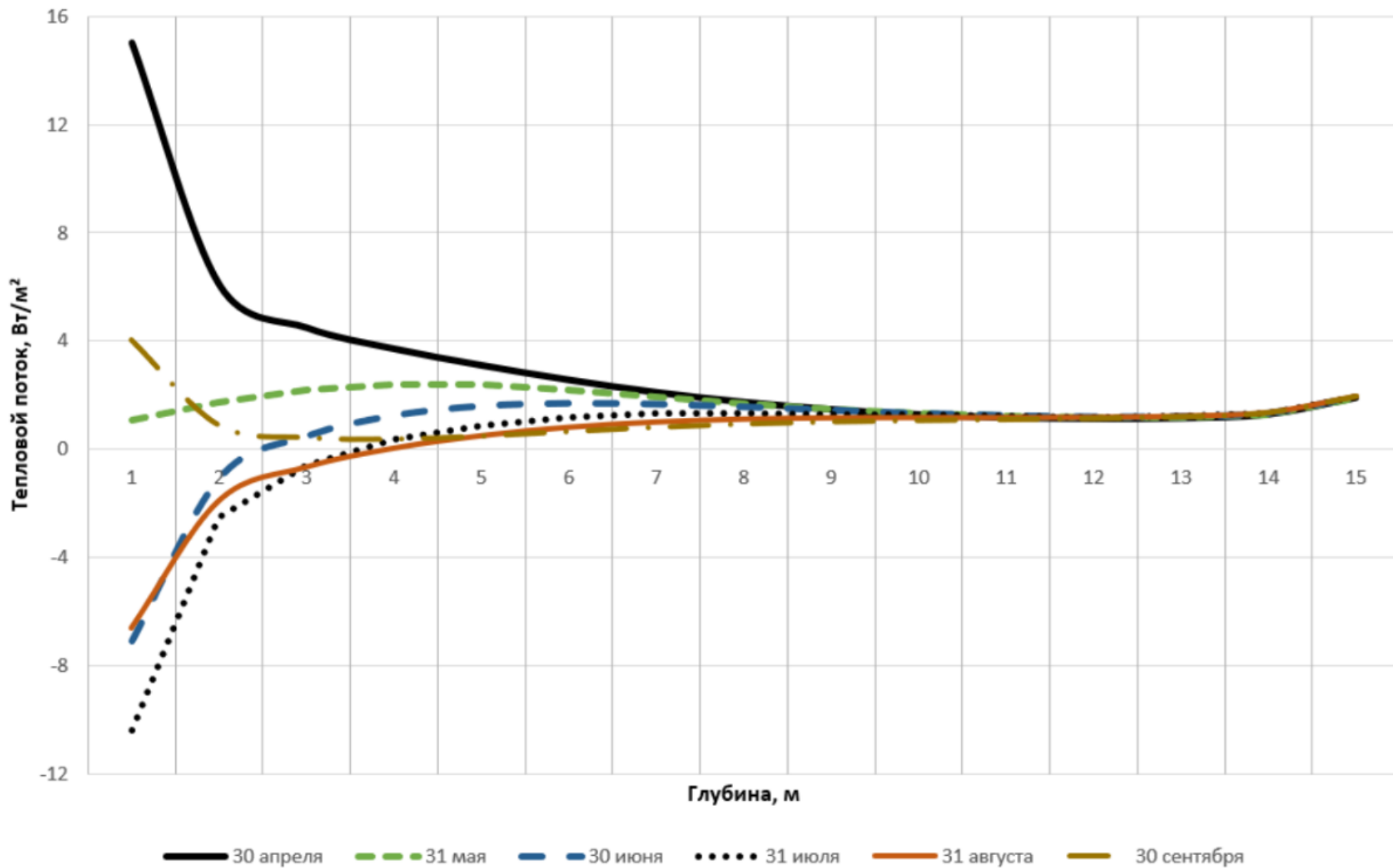


Грунт 1   Грунт 2   Грунт 3   Грунт 4   Грунт 5   Грунт 6

# Тепловые потоки по высоте стены (октябрь - март)



# Тепловые потоки по высоте стены (апрель - сентябрь)

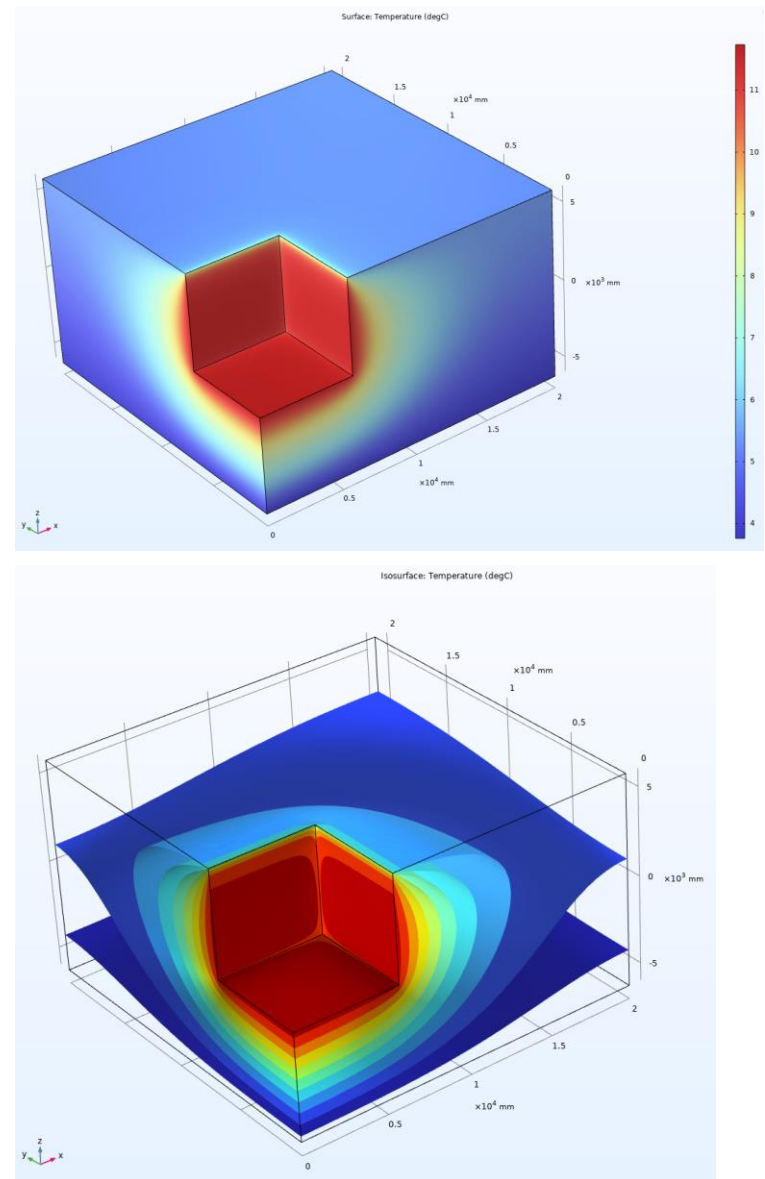


# Удельные потери теплоты для угла

Для нахождения удельных потерь теплоты необходимо решать трехмерную задачу.

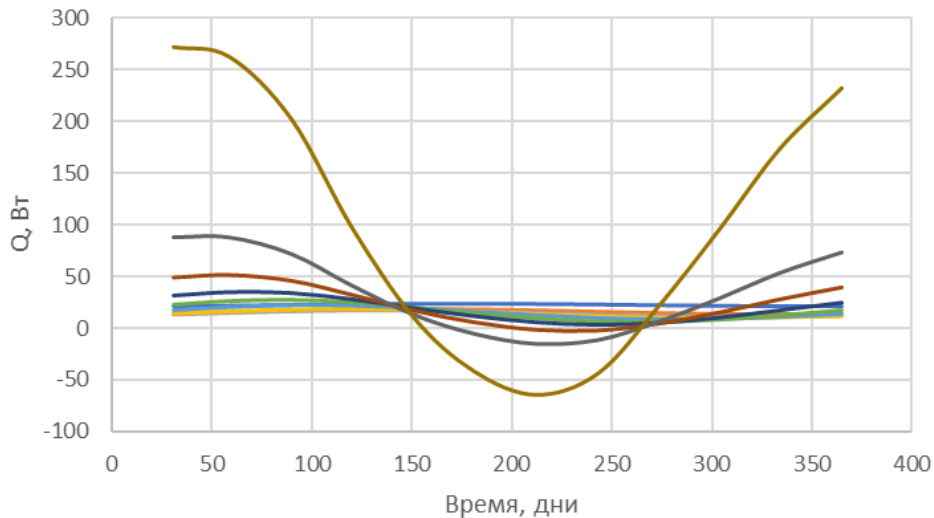
Температура на нижней границе расчетной модели принята постоянной и равной средней за год.

Температура воздуха в помещении  $+12\text{ }^{\circ}\text{C}$   
Нестационарный процесс теплопередачи моделировался для периода 8 лет

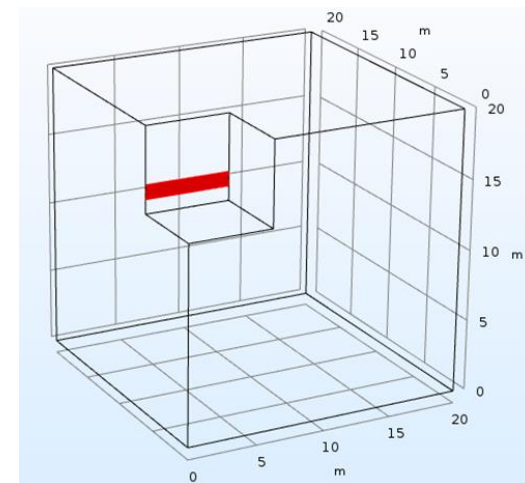
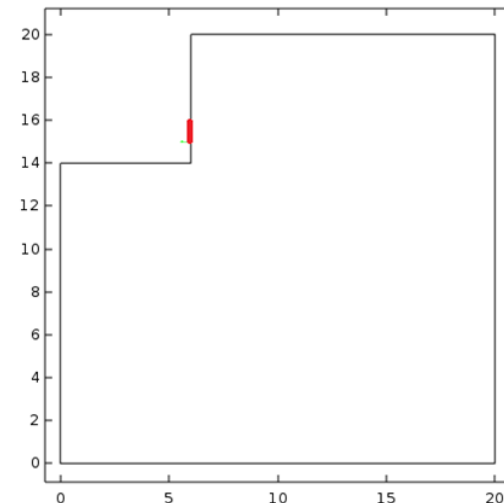
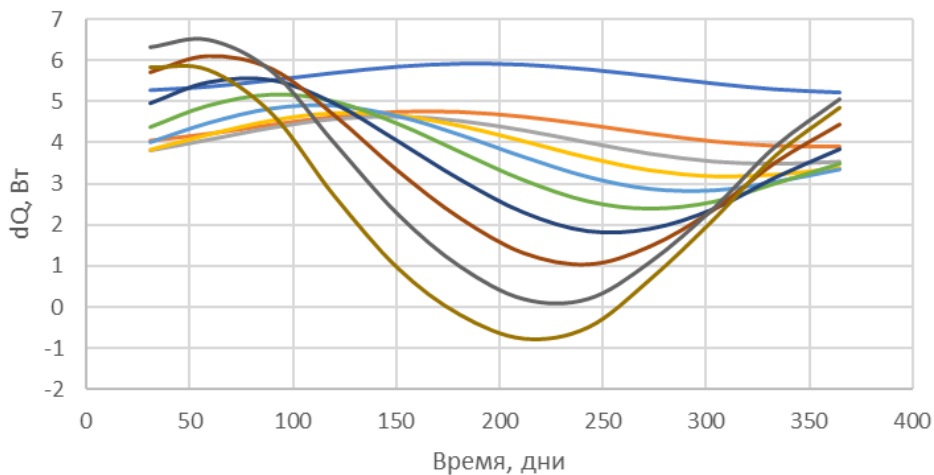


# Удельные потери теплоты для угла

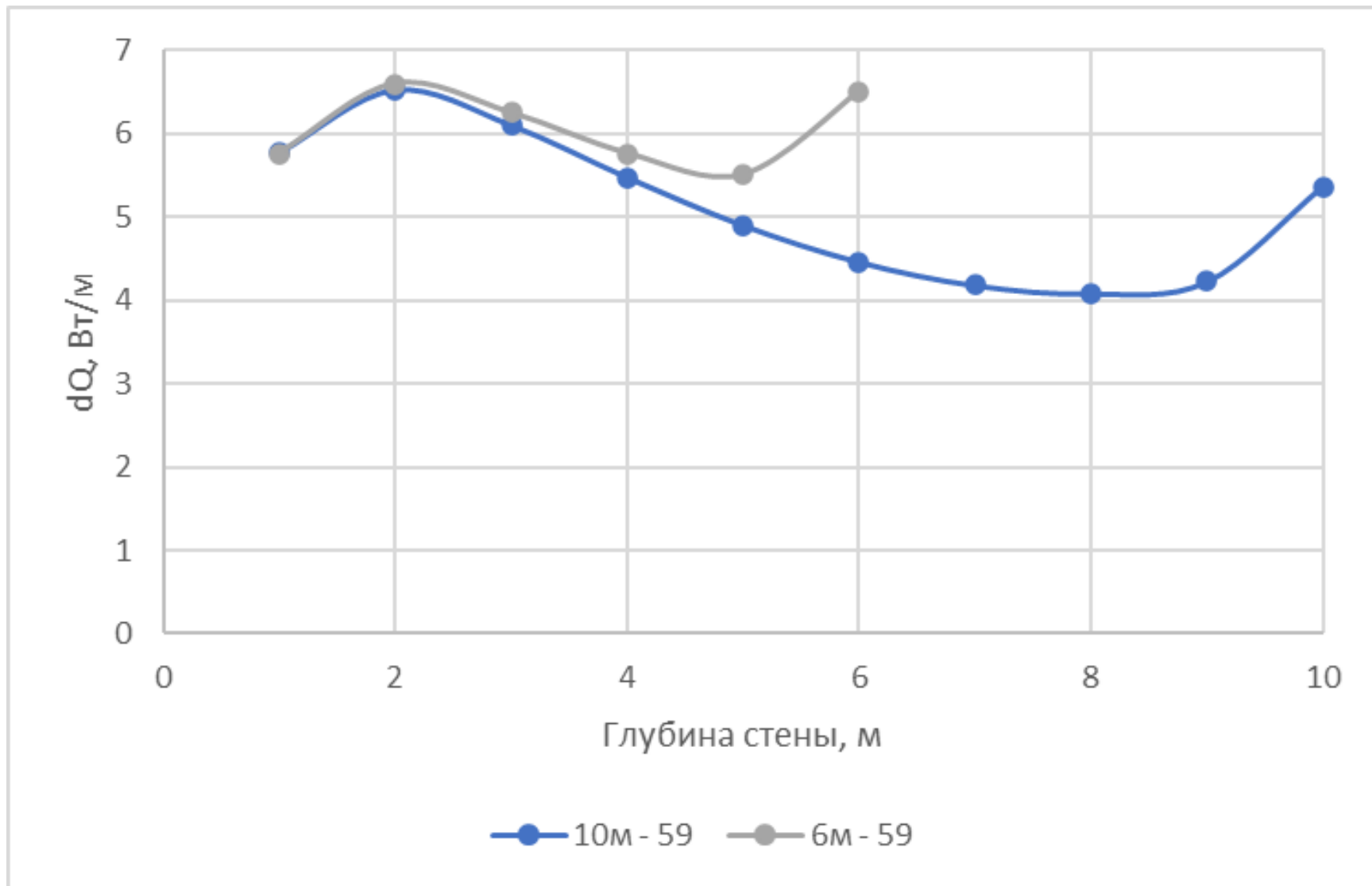
Тепловой поток по стене (3D)



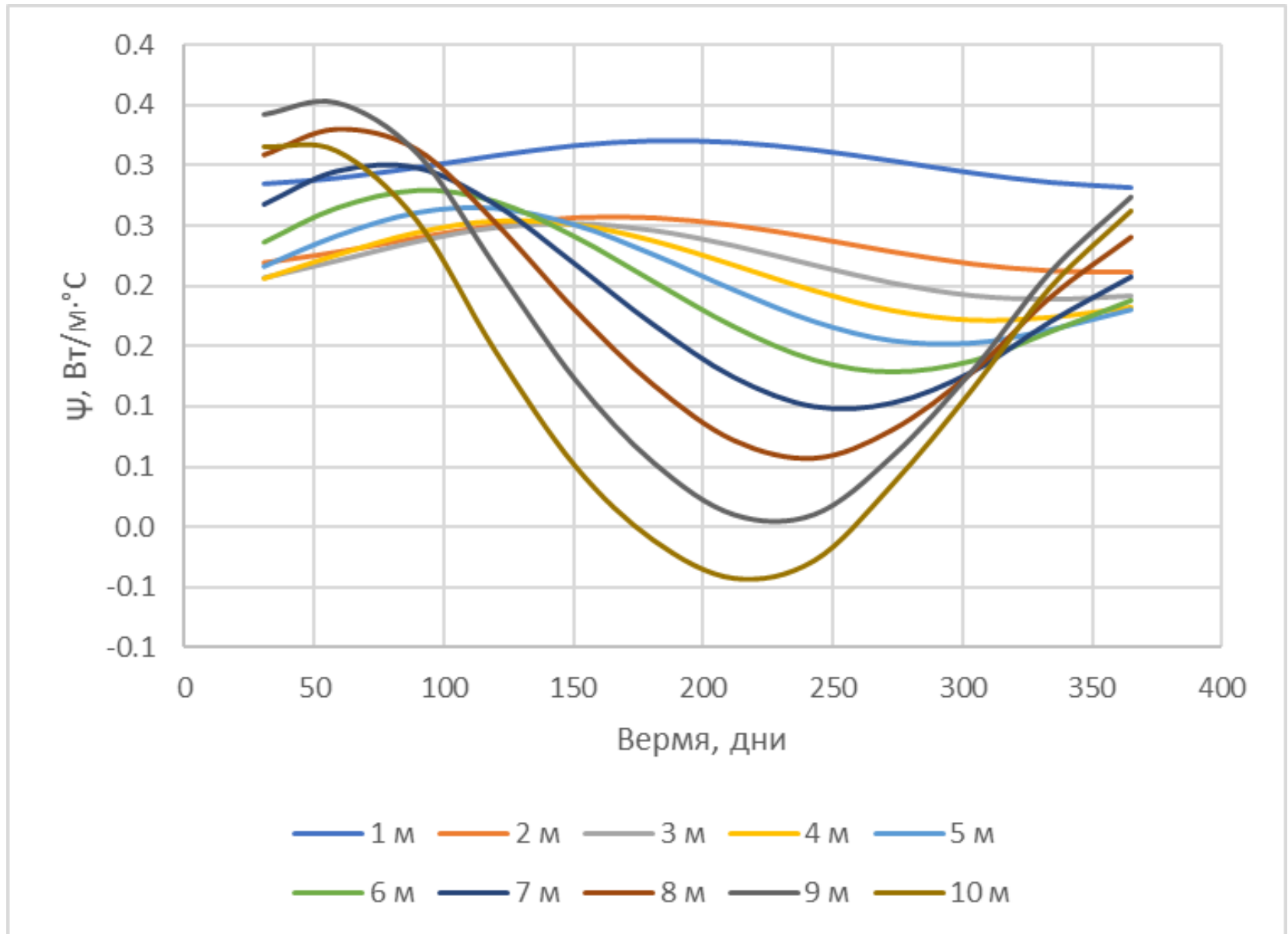
Дополнительные теплотопотери



# Дополнительные потери теплоты для угла



# Удельные потери теплоты для угла

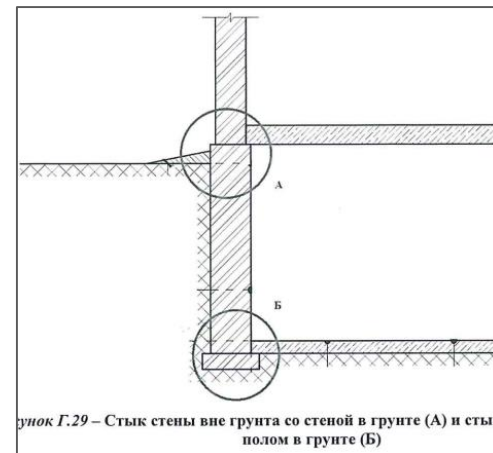


# Внедрение результатов в СП 230.1325800.2015

## Г.15 Узлы ограждающих конструкций, контактирующих с грунтом

В настоящем разделе приведены удельные потери теплоты для трех разновидностей узлов ограждающих конструкций, контактирующих с грунтом:

- а) стык стены вне грунта со стеной в грунте;
- б) стык стены в грунте с полом в грунте;
- в) стык стен в грунте под прямым углом. Классический угол стены в грунте.



Значения удельных потерь теплоты в таблице Г.161 приведены для участков длиной по 2 м, что в целом соответствует методике расчета приведенного сопротивления теплопередаче стен полосами. Каждой полосе стены соответствуют свои удельные потери теплоты угла в грунте.

Т а б л и ц а Г.161 – Удельные потери теплоты  $\Psi$ , Вт/(м<sup>2</sup>·°С), угол стены в грунте

Глубина расположения угла, м	$\Psi$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)
От 0 до 2 включ.	0,282
От 2 до 4 включ.	0,352
От 4 до 6 включ.	0,374
От 6 до 8 включ.	0,395
От 8 до 10 включ.	0,418
От 10 до 12 включ.	0,439

МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА  
И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

СВОД ПРАВИЛ СП 230.1325800.2015

КОНСТРУКЦИИ ОГРАЖДАЮЩИЕ  
ЗДАНИЙ  
ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ  
НЕОДНОРОДНОСТЕЙ

Издание официальное

Москва 2015



1. Крайнов Д.В., Масленников И.А. К вопросу определения теплотерь через стену в грунте // Известия КГАСУ. 2022. №4(62).
2. Крайнов Д.В., Масленников И.А. Климатические данные для расчета нестационарных теплотерь через ограждающие конструкции в грунте // Известия КГАСУ. 2023. №2(64).



# Выводы

- у поверхности грунт оказывает значительное влияние на величину теплопотерь
- с увеличением глубины разница в абсолютных величинах становится не столь существенной и на глубине 14 м находится в диапазоне 0,3-0,7 Вт/м<sup>2</sup>
- определено, что разница в амплитуде таких колебаний для рассмотренных грунтов становится существенной с ростом глубины залегания стены



## ТАТРСКИЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ ПО ЭНЕРГЕТИКЕ И ЭНЕРГОРЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТИ



Круглый стол «Энергоэффективность и энергосбережение в строительной отрасли: от цифровой модели к реальному объекту»

# Спасибо за внимание!

Крайнов Дмитрий Владимирович  
к.т.н., доцент  
КГАСУ /Казань/

Гагарин Владимир Геннадьевич  
д.т.н., профессор  
НИИСФ /Москва/

2024 г.

# Эксперимент

Для исключения влияния выбранных начальных условий нестационарный процесс теплопередачи моделируется продолжительное время.

Для выбранного периода требуется найти достоверный источник климатических данных, для использования их в качестве граничных условий.

## 2. Какие существуют источники климатических данных?

### Задача

Провести анализ источников климатических данных

### Проблемы

1. Доступность
2. Частота данных
3. Достоверность
4. Формат данных

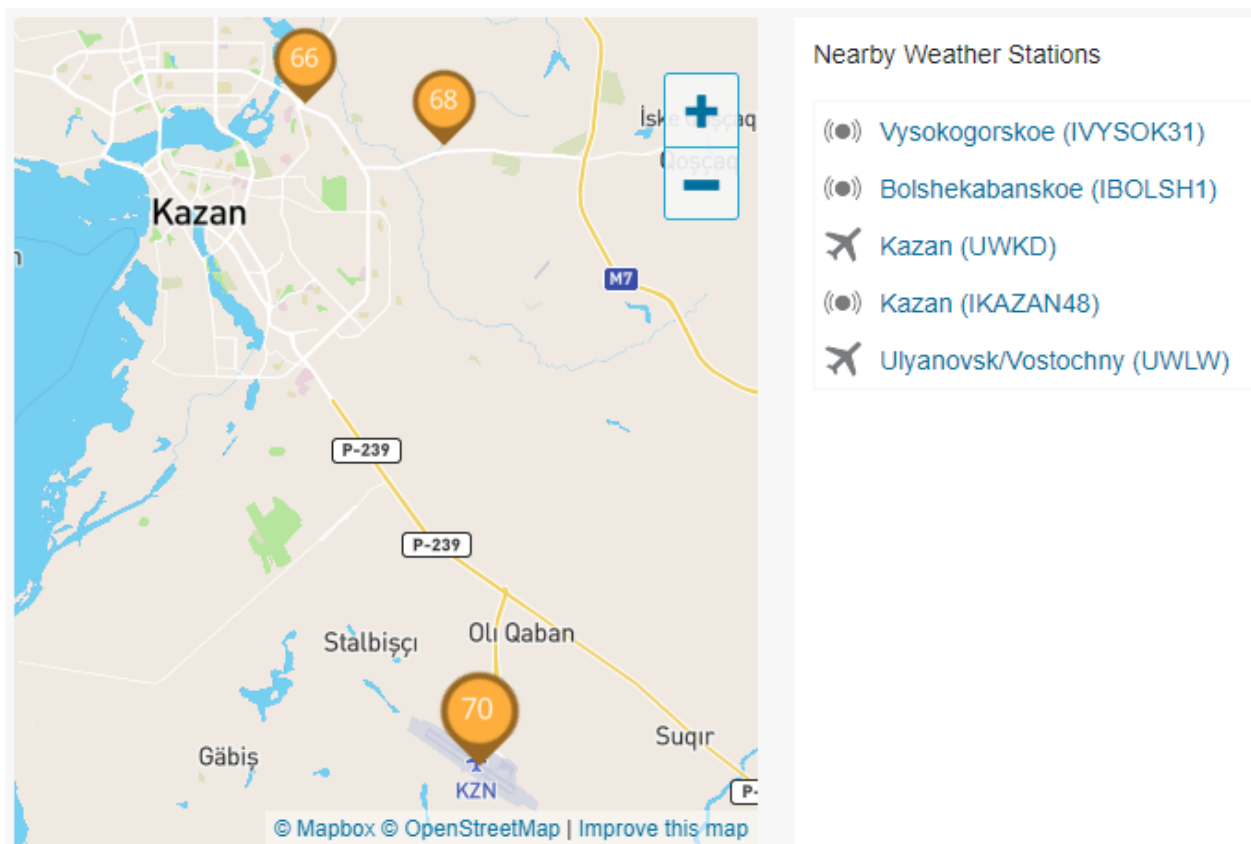
### Источники

- [aisori-m.meteo.ru](https://aisori-m.meteo.ru)
- [pogoda-service.ru](https://pogoda-service.ru)
- [rp5.ru](https://rp5.ru)
- [pogodaiklimat.ru](https://pogodaiklimat.ru)
- [meteoinfo.ru/archive-pogoda](https://meteoinfo.ru/archive-pogoda)
- [climate-energy.ru](https://climate-energy.ru)
  
- [visualcrossing.com/weather/weather-data-services](https://visualcrossing.com/weather/weather-data-services)
- [wunderground.com](https://wunderground.com)
- [ncdc.noaa.gov](https://ncdc.noaa.gov)
- [re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/#TMY](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#TMY)

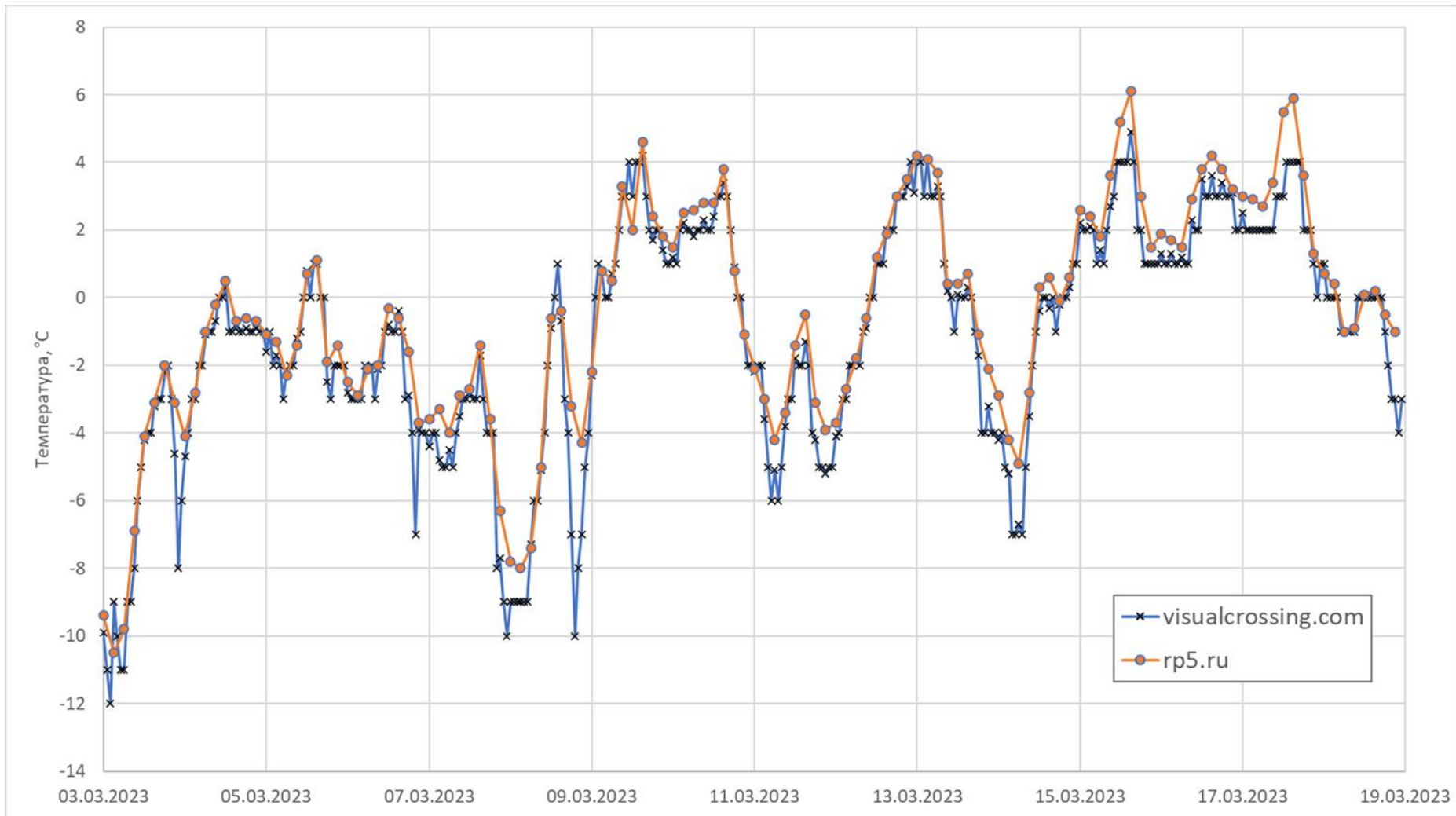
# Метеостанции

Синоптíческий индекс – пятизначный уникальный цифровой индивидуальный идентификатор (номер метеостанции), назначаемый официальным метеостанциям

Казань Опорная - Станция 275950



# Сравнение источников



# Климатические данные

Официальный источник - ВНИИГМИ-МЦД.

Сервис доступа к данным из архивов Единого государственного фонда данных об окружающей среде (ЕГФД).

ЯОД - язык описания гидрометеорологических данных.

Данные	1881 (1936) – 1965	1966 – 1975	1976 – 1983	1984 – 1990	1991 – н.в.
Срочные (только с 1936)	ТМ1-СРОКИ	ВОСХОД	ТММ1	ТММ1	ТМС
Суточные	ТМ1-СУТКИ	СУТКИ-76	–	ТМСС	ТМСС
Месячные	–	–	–	ТМСМ	ТМСМ



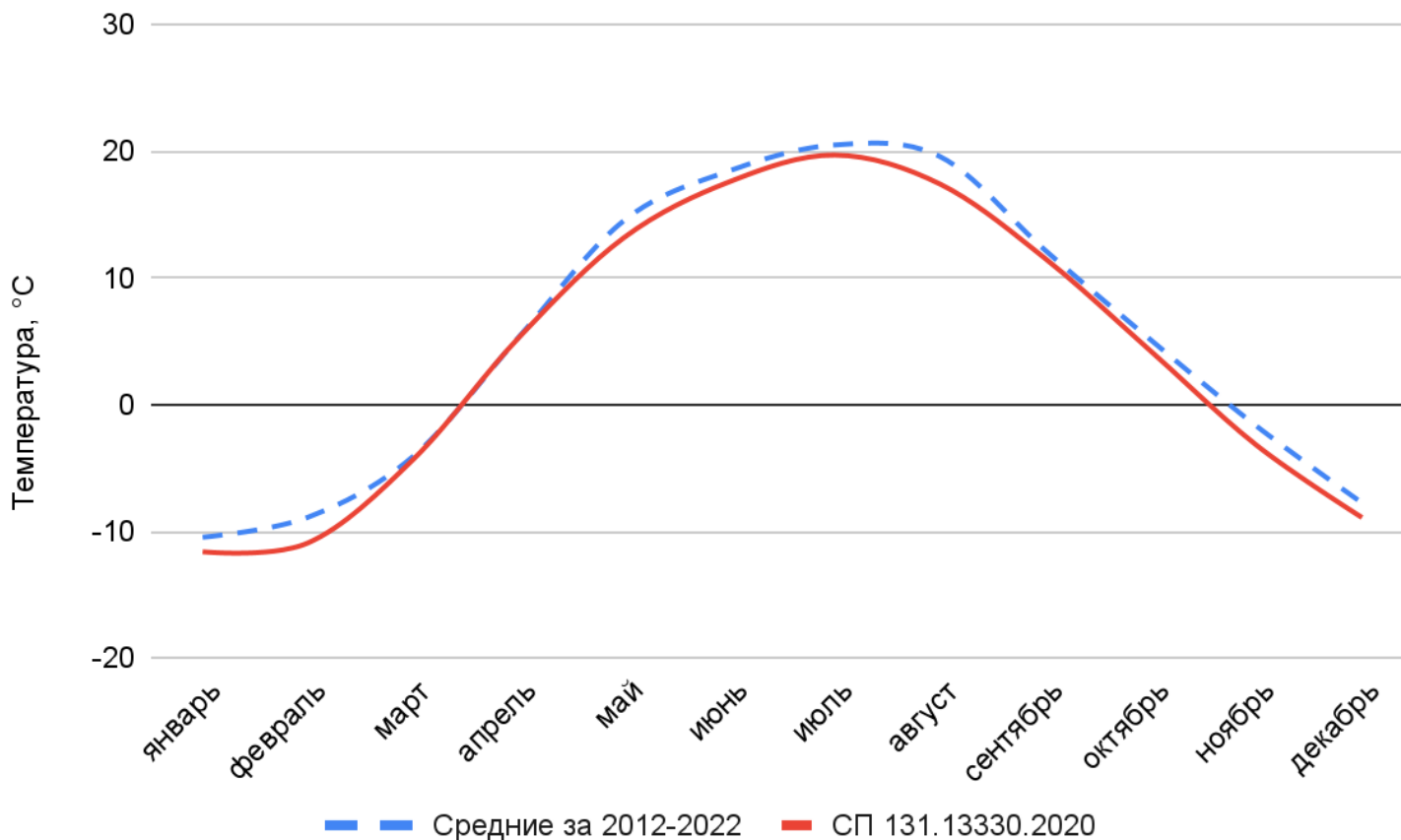
# Обобщенные сведения о существующих специализированных массивах

№ п/п	Название массива	Количество станций
Месячные данные		
1	Температура воздуха	518
2	Сумма осадков	518
3	Число дней с осадками больше или равно 1 мм	518
4	Атмосферное давление на уровне станции	518
5	Атмосферное давление на уровне моря	503
6	Продолжительность солнечного сияния	411
7	Упругость водяного пара	518
8	Среднемесячные значения параметров атмосферы	23
9	Среднемесячные значения в пограничном слое атмосферы	13

# Обобщенные сведения о существующих специализированных массивах

№ п/п	Название массива	Количество станций
<b>Ежедневные данные</b>		
10	Температура воздуха и количество осадков	600
11	Температура почвы на глубинах до 320 см	458
12	Данные о температуре почвы (по термометру Савинова)	315
13	Характеристики снежного покрова	620
14	Маршрутные снегосъёмки	517
<b>Срочные данные</b>		
15	Основные метеопараметры	518
16	Атмосферные явления	518
17	Срочные данные радиозондовых наблюдений	12

# Среднемесячные температуры наружного воздуха



Для рассмотренной задачи (г. Казань) максимальное отклонение среднемесячной температуры воздуха, осредненной для периода 2012-2022 г.г., от нормативных данных составило 2 °C

# Использование климатических данных

Климатические данные могут применяться для многих задач.

- Моделирование энергопотребления здания
- Исследования долговечности
- Типовой год
- Подтверждение эксперимента
- ....

Полученные данные будут применены для верификации численного эксперимента

### 3. Объект экспериментального исследования

- Подвальное помещение 3х этажного офисного строения в г. Казань
- Стена в грунте состоит из фундаментных блоков
- Период исследования: с 02.03.2023 г. по настоящее время



# Методы

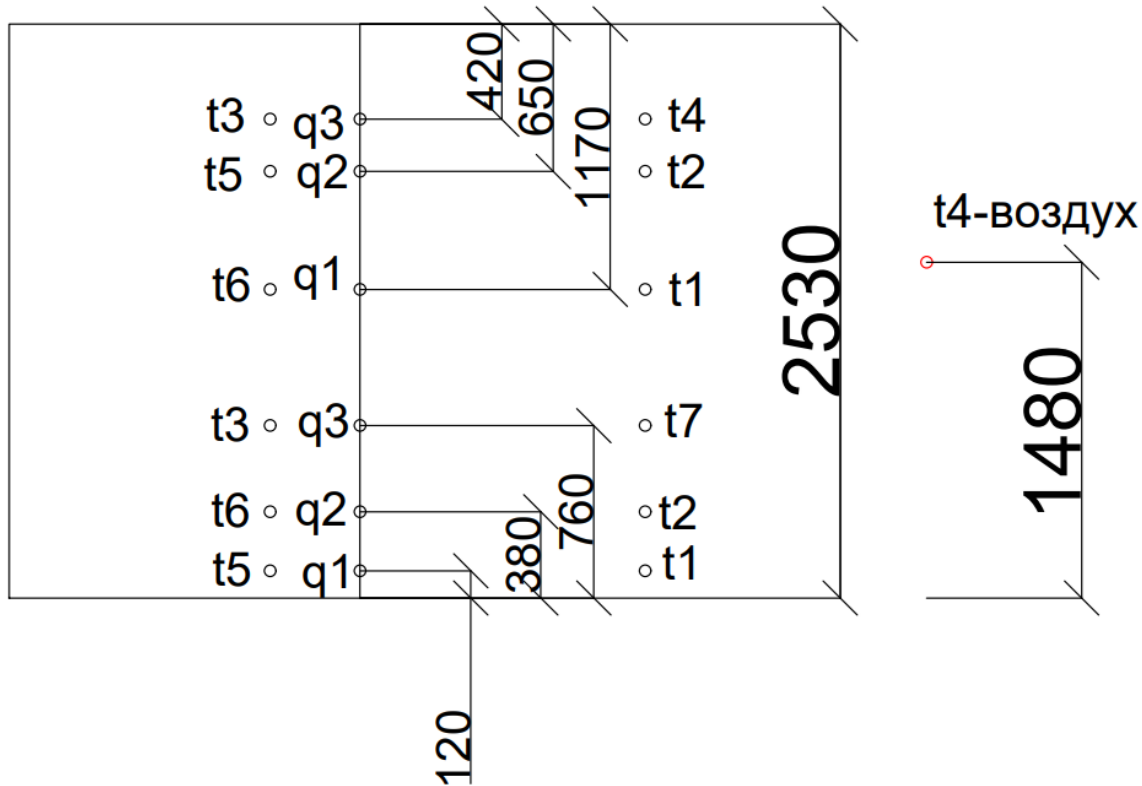
ГОСТ 26254-84 “Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций”

- Измеритель плотности теплового потока ИТП-МГ 4.03 Поток
- Интервал измерений 15 минут



# Методы

Схема размещения термодпар выбиралась согласно ГОСТ 26254-84. Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций Часть 2.





# Результаты

Для аналитики данных использовался сервис Yandex DataLens





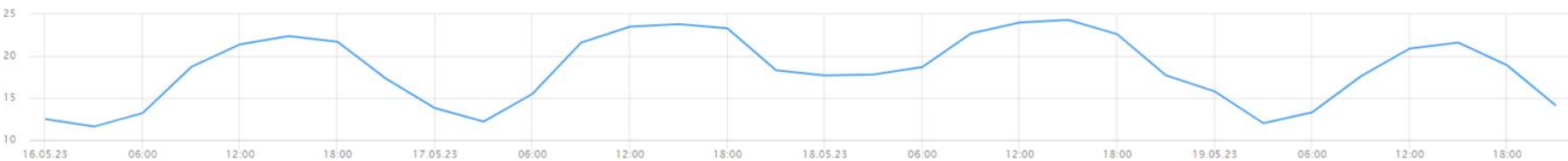
# Результаты

## 16-19 мая

Гладилова

Дата 16.05.2023 00:00:00 - 19.05.2023 23:59:59

Температура наружного воздуха



Измерения



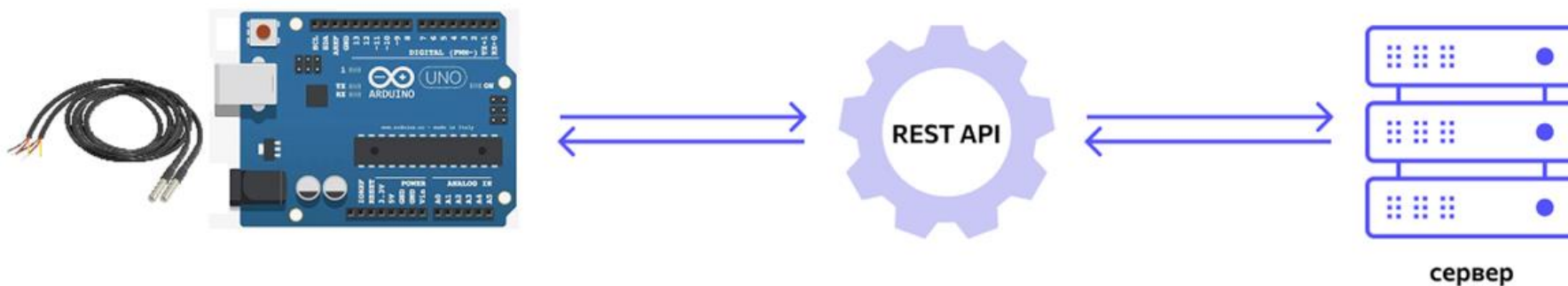
— B\_q6,Вт/м.кв — B\_q9,Вт/м.кв — B\_q10,Вт/м.кв — B\_t4,C — B\_t5,C — B\_t6,C — B\_t7,C

# Разработка собственного устройства

Начата работа над устройством для мониторинга теплотехнических показателей

Клиент-серверное приложение

Участвуем с этим проектом в конкурсе студенческих стартапов от фонда содействия инновациям



В настоящий момент продолжаем сбор данных. Планируем получить данные за полный год

1. Крайнов Д.В., Масленников И.А. К вопросу определения теплотерь через стену в грунте // Известия КГАСУ. 2022. №4(62).
2. Крайнов Д.В., Масленников И.А. Климатические данные для расчета нестационарных теплотерь через ограждающие конструкции в грунте // Известия КГАСУ. 2023.





# ТАТРСКИЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ ПО ЭНЕРГЕТИКЕ И ЭНЕРГОРЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТИ



Круглый стол «Энергоэффективность и энергосбережение в строительной отрасли: от цифровой модели к реальному объекту»

## Спасибо за внимание!

Крайнов Дмитрий Владимирович  
к.т.н., доцент  
КГАСУ /Казань/

Гагарин Владимир Геннадьевич  
д.т.н., профессор  
НИИСФ /Москва/

2024 г.