

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**«МОСКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ (МАДИ)»
ВОЛЖСКИЙ ФИЛИАЛ МАДИ**

УТВЕРЖДАЮ
Зав. кафедрой ИиТТП
Петрова А.В.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ
ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНО-ДОРОЖНОГО КОМПЛЕКСА»**

Направление подготовки
09.03.01 «Информатика и вычислительная техника»

Направленность (профиль)
***Автоматизированные системы обработки информации и
управления в отраслях транспортно-дорожного комплекса***

Квалификация
Бакалавр

Кафедра: ИиТТП

Чебоксары

Лабораторная работа 1. Моделирование климатических условий эксплуатации объектов ТДК

Задание 1.1. Создайте файл «Функции.xmcd». Воспроизведите в нем функцию для моделирования основных параметров климата на протяжении среднестатистического года:

```

MakePΔt(MonthP, TBottom, Δt) :=
    theNumDays ←  $\sum_{i=2}^{\text{rows}(\text{MonthP})} \text{MonthP}_{i,2}$ 
    ΔS ← 24·3600
    theYear ← theNumDays·ΔS
    theNumPeriods ←  $\frac{\text{theYear}}{\Delta t}$ 
    if IsArray(TBottom)
        DataBottom ← READPRN(TBottom1)
        HBottom ← TBottom2
        for j ∈ 2..cols(DataBottom)
            Zj-1 ← j
            for day ∈ 1..365
                for j ∈ 2..cols(DataBottom)
                    Tj-1 ← DataBottomday,j
                    ProfileTday,2 ← linterp(Z, T, HBottom)
                    ProfileTday,1 ← DataBottomday,1
            otherwise
                for day ∈ 1..365
                    ProfileTday,1 ← day·3600·24
                    ProfileTday,2 ← TBottom
        1
    for i ∈ 1..cols(MonthP)
        MonthP14,i ← MonthP2,i
        MonthP1,i ← MonthP13,i
    MonthP1,1 ← -0.5·MonthP1,2
    for i ∈ 2..rows(MonthP)
        MonthPi,1 ← MonthPi-1,1 + 0.5·(MonthPi-1,2 + MonthPi,2)
    theKcoefTmid ← cspline(MonthP(1), MonthP(3))
    theKcoefTmin ← cspline(MonthP(1), MonthP(4))
    theKcoefTmax ← cspline(MonthP(1), MonthP(5))
    theKcoefVmid ← cspline(MonthP(1), MonthP(6))
    t_R ← 9

```

```

for i ∈ 1..theNumDays
  theCurrDay ← i - 0.5
  Pi,1 ← interp(theKoeffTmid, MonthP<1>, MonthP<3>, theCurrDay)
  Pi,2 ← interp(theKoeffTmin, MonthP<1>, MonthP<4>, theCurrDay)
  Pi,3 ← interp(theKoeffTmax, MonthP<1>, MonthP<5>, theCurrDay)
  Pi,4 ← interp(theKoeffVmid, MonthP<1>, MonthP<6>, theCurrDay)
  theT0 ←  $\frac{48 \cdot P_{i,1} - 24 \cdot P_{i,3} - 15 \cdot P_{i,2} + P_{i,3} \cdot t_R}{9 + t_R}$ 
  Pi,5 ←  $\begin{pmatrix} 0 & \text{theT0} \\ t_R - 3600 & P_{i,2} \\ 15 \cdot 3600 & P_{i,3} \\ 24 \cdot 3600 & \text{theT0} \end{pmatrix}$ 
for i ∈ 1..theNumPeriods
  theCurrSecond ← (i - 0.5) · Δt
  theSecondInDay ← mod(theCurrSecond, ΔS)
  theCurrDay ← round( $\frac{\text{theCurrSecond} - \text{theSecondInDay}}{\Delta S}$ ) + 1
  theCurrV ← PtheCurrDay,4
  theGraph ← PtheCurrDay,5
  theCurrT ← linterp(theGraph<1>, theGraph<2>, theSecondInDay)
  Mi,1 ← theCurrT
  Mi,2 ← theCurrV
  theCurrSecond ← i · Δt
  Mi,3 ← linterp(ProfileT<1>, ProfileT<2>, theCurrSecond)
M

```

Задание 1.2. Заполните в файле «Функции.xmcd» массив с климатическими данными Якутска по всем 12 месяцам года, воспользовавшись климатическим справочником. Данные для 2 первых месяцев года показаны на рисунке.

"Month"	"Days"	"Tmid"	"Tmin"	"Tmax"	"v_mid"
1	31	-42.6	-46.6	-37.7	1.1
2	28	-35.9	-41.7	-30.4	1.1
3					
4					
5					
6					
7					
8					

DClimateYKT :=

Задание 1.3. Создайте файл «**1. Моделирование климата.xmcd**». Подключите к нему файл «**Функции.xmcd**», как показано на рисунке.

Задаем ссылку на файл "Функции.xmcd"

*(главное меню - **Вставка** - **Ссылка...** - выбрать файл - поставить галочку "Использовать для ссылки относительный путь").*

В Вашей ссылке файловая структура будет отличаться от проказанной ниже.

☒ Ссылка: C:\Users\REPAIR\Desktop\Новые дисциплины\Риски\Функции.xmcd(R)

С помощью функции из задания 1.1 создайте массив со значениями трех климатических параметров по отдельным периодам года: первый столбец – температура атмосферного воздуха, градусов по Цельсию; второй столбец – скорость ветра, м/с; третий столбец – температура вечной мерзлоты, градусов по Цельсию (для Якутска –5,5 °С).

Аргументами функции **MakePA**t являются: первый аргумент – массив с климатическими данными для 12 месяцев года (из задания 1.2); второй аргумент – температура вечной мерзлоты; третий аргумент – интервалы времени, через которые моделируются значения параметров, с.

Постройте графики изменения температуры воздуха и скорости ветра на протяжении года, а также график изменения температуры за 1-3 января. Результат выполнения задания показан на рисунке.

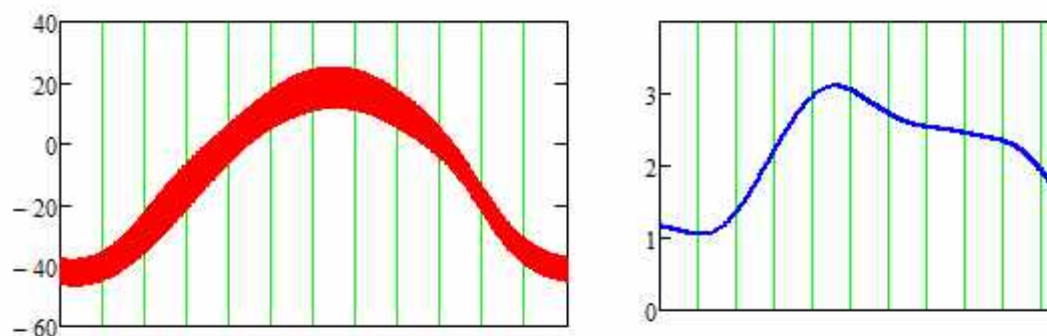
Создаем массив со значениями климатических параметров, разделенных заданным интервалом времени на протяжении года

$\text{ClimatYearYKT} := \text{MakeP}\Delta t(\text{DClimateYKT}, -5.5, 900)$

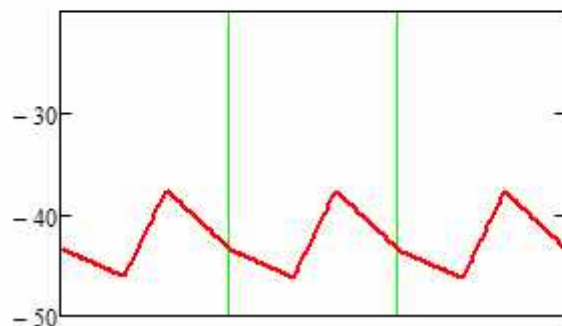
$\text{ClimatYearYKT} =$

	1	2	3
1	-43.469	1.156	-5.5
2	-43.545	1.156	-5.5
3	-43.622	1.156	-5.5
4	-43.698	1.156	-5.5
5	-43.775	1.156	...

Температура воздуха и скорость ветра на протяжении года



Температура воздуха на протяжении первых 3 суток (1-3 января)



Задание 1.4. В файле «Функции.xmcd» создайте и заполните массивы **DClimateURN** и **DClimateSSM** с климатическими данными Уренгоя и Сусумана. Дополните годовые графики температуры воздуха и скорости ветра из задания 1.3 аналогичными графиками для Уренгоя и Сусумана.

Лабораторная работа 2. Моделирование температурной динамики грунта в основаниях инфраструктурных объектов ТДК

Задание 2.1. Воспроизведите в файле «**Функции.xmcd**» создание функции для моделирования теплопереноса в грунтовом массиве:

```

ModelFreeze(G,P,f,tMax,Δt,ΔtSave,δx) := 1
λ ← P2,2
C ← P3,2·106
Tbf ← P4,2
qW ← 3.35·105·P1,2·δx2
for i ∈ 1..rows(G)
  for j ∈ 1..cols(G)
    QWi,j ←  $\begin{cases} G_{i,j} & \text{if } \text{IsString}(G_{i,j}) \\ \text{otherwise} & \\ 0 & \text{if } G_{i,j} < Tbf \\ qW & \text{otherwise} \end{cases}$ 
  1
nΔt ← round( $\frac{tMax}{\Delta t}$ )
iSave ← round( $\frac{\Delta tSave}{\Delta t}$ )
A ←  $\begin{pmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \end{pmatrix}^T$ 
nSave ← 1
saveG1 ← G
for nt ∈ 1..nΔt
  1
  for i ∈ 1..rows(G)
    for j ∈ 1..cols(G)
      ΔQi,j ← 0
  1
  for i ∈ 2..rows(G) - 1
    for j ∈ 2..cols(G) - 1
      if ¬IsString(Gi,j)
        for n ∈ 1..4
          i1 ← i + An,1
          j1 ← j + An,2
          δq ← 0

```

```

1
1
1
if IsString( $G_{i1,j1}$ )
    if  $G_{i1,j1} = "a"$ 
         $aP \leftarrow f(nt)$ 
         $\delta q \leftarrow 18 \cdot (aP_{2,2})^{0.578} \cdot (aP_{1,2} - G_{i,j}) \cdot \delta x^2 \cdot \Delta t$ 
    1 if  $G_{i1,j1} = "b"$ 
    if  $G_{i1,j1} = "c"$ 
         $aP \leftarrow f(nt)$ 
         $\delta q \leftarrow \lambda \cdot (aP_{3,2} - G_{i,j}) \cdot \delta x \cdot \Delta t$ 
    otherwise
         $\delta q \leftarrow \lambda \cdot (G_{i1,j1} - G_{i,j}) \cdot \delta x \cdot \Delta t$ 
        1
 $\Delta Q_{i,j} \leftarrow \Delta Q_{i,j} + \delta q$ 
1
1
for i ∈ 2..rows(G) − 1
    for j ∈ 2..cols(G) − 1
        if ¬IsString( $G_{i,j}$ )
             $\delta q \leftarrow 0$ 
            if  $\Delta Q_{i,j} > 0$ 
                if  $G_{i,j} \leq Tbf$ 
                     $Qbf \leftarrow (Tbf - G_{i,j}) \cdot C \cdot \delta x^2$ 
                     $\delta q \leftarrow \Delta Q_{i,j}$  if  $Qbf \geq \Delta Q_{i,j}$ 
                otherwise
                    if  $\Delta Q_{i,j} \leq (qW - QW_{i,j})$ 
                         $QW_{i,j} \leftarrow QW_{i,j} + \Delta Q_{i,j}$ 
                         $\delta q \leftarrow 0$ 
                    otherwise
                         $\delta q \leftarrow \Delta Q_{i,j} - (qW - QW_{i,j})$ 
                         $QW_{i,j} \leftarrow qW$ 
                 $\delta q \leftarrow \Delta Q_{i,j}$  otherwise
            1
        if  $\Delta Q_{i,j} < 0$ 
            if  $G_{i,j} \geq Tbf$ 
                 $Qbf \leftarrow (G_{i,j} - Tbf) \cdot C \cdot \delta x^2$ 
                 $\delta q \leftarrow \Delta Q_{i,j}$  if  $Qbf \geq |\Delta Q_{i,j}|$ 

```

```

otherwise
    if  $|\Delta Q_{i,j}| \leq QW_{i,j}$ 
         $QW_{i,j} \leftarrow QW_{i,j} - |\Delta Q_{i,j}|$ 
         $\delta q \leftarrow 0$ 
    otherwise
         $\delta q \leftarrow -||\Delta Q_{i,j}| - QW_{i,j}|$ 
         $QW_{i,j} \leftarrow 0$ 
    1
 $\delta q \leftarrow \Delta Q_{i,j}$  otherwise
1
 $G_{i,j} \leftarrow G_{i,j} + \frac{\delta q}{C \cdot \delta x^2}$ 
1
if mod(nt,iSave) = 0
    nSave  $\leftarrow$  nSave + 1
    G1  $\leftarrow$  G
    for j  $\in$  2..cols(G1) - 1
         $G1_{rows(G1),j} \leftarrow f(nt)_{3,2}$ 
    saveGnSave  $\leftarrow$  G1
for j  $\in$  2..cols(saveG1) - 1
     $(saveG_1)_{rows(saveG_1),j} \leftarrow f(0)_{3,2}$ 
saveG

```

Задание 2.2. Создайте файл «2. Моделирование грунта.xmcd» и подключите к нему файл «Функции.xmcd».

В файле «2. Моделирование грунта.xmcd» с использованием функции из задания 2.1 выполните моделирование температурной динамики грунтового массива из песка высокой влажности при постоянной температуре атмосферного воздуха 10 градусов, как показано на рисунке (кроме вычислений, в документе MathCad необходимо воспроизвести все пояснения):

Задаем начальную температуру в грунтовом массиве:

"a" - атмосферный воздух (верхняя граница грунтового массива)

"b" - боковые границы грунтового массива

"c" - уровень постоянной температуры в грунте

$$G = \begin{pmatrix} "a" & "a" & "a" & "a" & "a" & "a" & "a" & "a" & "a" & "a" \\ "b" & -5 & -5 & -5 & -5 & -5 & -5 & -5 & -5 & "b" \\ "b" & -5 & -5 & -5 & -5 & -5 & -5 & -5 & -5 & "b" \\ "b" & -5 & -5 & -5 & -5 & -5 & -5 & -5 & -5 & "b" \\ "b" & -5 & -5 & -5 & -5 & -5 & -5 & -5 & -5 & "b" \\ "b" & -5 & -5 & -5 & -5 & -5 & -5 & -5 & -5 & "b" \\ "b" & -5 & -5 & -5 & -5 & -5 & -5 & -5 & -5 & "b" \\ "b" & -5 & -5 & -5 & -5 & -5 & -5 & -5 & -5 & "b" \\ "b" & -5 & -5 & -5 & -5 & -5 & -5 & -5 & -5 & "b" \\ "b" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "b" \end{pmatrix}$$

Задаем теплофизические параметры грунта
(соответствуют песчаному грунту с высокой влажностью)

$$P := \begin{pmatrix} "W, \text{ кг/куб.м}" & 200 \\ "\lambda, \text{ Вт/(куб.м*С)}" & 1.5 \\ "C, \text{ МДж/куб.м*С}" & 2.5 \\ "Tbf, \text{ С}" & -0.1 \end{pmatrix}$$

Задаем дополнительные параметры моделирования

$t_{\text{Max}} := 50 \cdot 24 \cdot 3600$ - период моделирования 50 суток, в секундах

$\Delta t := 900$ - интервал моделирования (период, в течение которого все параметры модели считаются неизменными), в секундах

Задаем функцию определения климатических параметров на интервале n .

В данной работе эти параметры неизменны:

- температура воздуха +10 градусов,
- скорость ветра 1,3 м/с,
- температура вечной мерзлоты -5,5 градусов.

$$\text{AirParam}(n) := \begin{pmatrix} "T" & 10 \\ "v" & 1.3 \\ "Tconst" & -5.5 \end{pmatrix}$$

$\Delta t_{\text{Save}} := 1 \cdot 24 \cdot 3600$ - период сохранения промежуточных результатов (1 сутки, выраженные в секундах)

$\delta x := 0.1$ - размер квадратного расчетного элемента, из которых состоит модель грунтового массива (метры)

Выполняем моделирование теплопереноса в грунте

и определение температурной динамики отдельных расчетных элементов

$R_1 := \text{ModelFreeze}(G, P, \text{AirParam}, t_{\text{Max}}, \Delta t, \Delta t_{\text{Save}}, \delta x)$

Результаты расчета:

- температура в начальный момент времени

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"
2	"b"	-5.00	-5.00	-5.00	-5.00	-5.00	-5.00	-5.00	-5.00	"b"
3	"b"	-5.00	-5.00	-5.00	-5.00	-5.00	-5.00	-5.00	-5.00	"b"
4	"b"	-5.00	-5.00	-5.00	-5.00	-5.00	-5.00	-5.00	-5.00	"b"
5	"b"	-5.00	-5.00	-5.00	-5.00	-5.00	-5.00	-5.00	-5.00	"b"
6	"b"	-5.00	-5.00	-5.00	-5.00	-5.00	-5.00	-5.00	-5.00	"b"
7	"b"	-5.00	-5.00	-5.00	-5.00	-5.00	-5.00	-5.00	-5.00	"b"
8	"b"	-5.00	-5.00	-5.00	-5.00	-5.00	-5.00	-5.00	-5.00	"b"
9	"b"	-5.00	-5.00	-5.00	-5.00	-5.00	-5.00	-5.00	-5.00	"b"
10	"b"	-5.50	-5.50	-5.50	-5.50	-5.50	-5.50	-5.50	-5.50	"b"

- температура через 1 сутки (определяется значением Δt_{Save})

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"
2	"b"	-0.14	-0.14	-0.14	-0.14	-0.14	-0.14	-0.14	-0.14	"b"
3	"b"	-3.72	-3.72	-3.72	-3.72	-3.72	-3.72	-3.72	-3.72	"b"
4	"b"	-4.78	-4.78	-4.78	-4.78	-4.78	-4.78	-4.78	-4.78	"b"
5	"b"	-4.97	-4.97	-4.97	-4.97	-4.97	-4.97	-4.97	-4.97	"b"
6	"b"	-5.00	-5.00	-5.00	-5.00	-5.00	-5.00	-5.00	-5.00	"b"
7	"b"	-5.01	-5.01	-5.01	-5.01	-5.01	-5.01	-5.01	-5.01	"b"
8	"b"	-5.04	-5.04	-5.04	-5.04	-5.04	-5.04	-5.04	-5.04	"b"
9	"b"	-5.17	-5.17	-5.17	-5.17	-5.17	-5.17	-5.17	-5.17	"b"
10	"b"	-5.50	-5.50	-5.50	-5.50	-5.50	-5.50	-5.50	-5.50	"b"

$R_2 =$

- температура через 50 суток (определяется значением t_{Max})

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"
2	"b"	7.99	7.99	7.99	7.99	7.99	7.99	7.99	7.99	"b"
3	"b"	5.23	5.23	5.23	5.23	5.23	5.23	5.23	5.23	"b"
4	"b"	2.54	2.54	2.54	2.54	2.54	2.54	2.54	2.54	"b"
5	"b"	-0.10	-0.10	-0.10	-0.10	-0.10	-0.10	-0.10	-0.10	"b"
6	"b"	-1.26	-1.26	-1.26	-1.26	-1.26	-1.26	-1.26	-1.26	"b"
7	"b"	-2.39	-2.39	-2.39	-2.39	-2.39	-2.39	-2.39	-2.39	"b"
8	"b"	-3.47	-3.47	-3.47	-3.47	-3.47	-3.47	-3.47	-3.47	"b"
9	"b"	-4.50	-4.50	-4.50	-4.50	-4.50	-4.50	-4.50	-4.50	"b"
10	"b"	-5.50	-5.50	-5.50	-5.50	-5.50	-5.50	-5.50	-5.50	"b"

$R_{51} =$

Задание 2.3. В файле «Функции.xmcd» создайте функцию для вычисления температуры в произвольной точке грунта (начало системы координат расположено в левом верхнем углу грунтового массива, ось x идет вправо, ось h идет вниз).

```

GetT(x, h, MT, dx) :=
  xMax ← (cols(MT) - 2) · dx
  hMax ← (rows(MT) - 1.5) · dx
  x ← 0 if x < 0
  x ← xMax if x > xMax
  h ← hMax if h > hMax
  for i ∈ 2..rows(MT)
    for j ∈ 2..cols(MT) - 1
      xMj-1 ← (j - 1.5) · dx
      hMi-1 ← (i - 1.5) · dx
  for i ∈ 2..rows(MT)
    hVi-1 ← linterp(xM, submatrix(MT, i, i, 2, cols(MT) - 1)T, x)
  T ← linterp(hM, hV, h)
  T

```

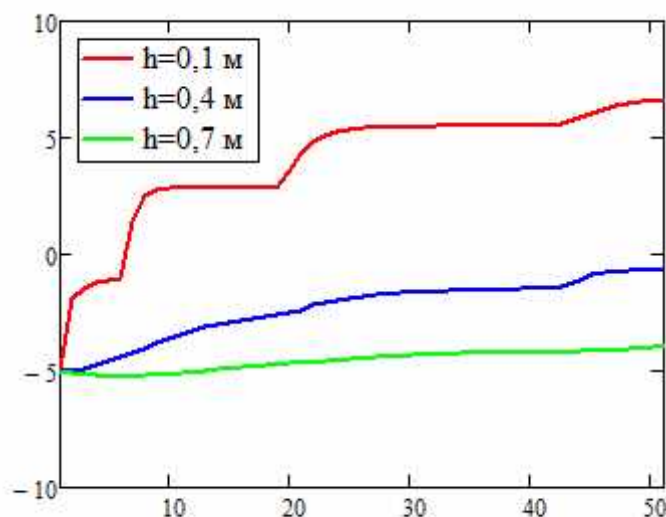
В файле «2. Моделирование грунта.xmcd» проверьте работоспособность функции, как показано на рисунке.

Проверяем работоспособность функции вычисления температуры

$\text{GetT}(0.25, 0.15, R_2, 0.1) = -3.288$ - температура на глубине 0,15 м через 1 сутки

$\text{GetT}(0.5, 0.5, R_{51}, 0.1) = -1.818$ - температура на глубине 0,5 м через 50 суток

Задание 2.4. С использованием функции из задания 4.3 постройте графики изменения температуры грунта на протяжении первых 50 суток на глубинах 0,1, 0,4 и 0,7 метров (как показано на рисунке).



Задание 2.5. Откройте в MathCad файл «2. Моделирование грунта.xmcd».

Создайте массив со значениями климатических параметров Якутска на протяжении года. Создайте функцию, вычисляющую значения этих параметров для указанного интервала моделирования и выполните моделирование температурной динамики грунта на протяжении 1 года. Необходимые вычисления показаны на рисунке.

Моделируем климат Якутска

$\text{ClimatYearYKT} := \text{MakeP}\Delta t(\text{DClimatYKT}, -5.5, 900)$

Функция, возвращающая климатические параметры Якутска

для заданного периода моделирования (извлекая их из массива ClimatYearYKT)

$\text{FunClimatYearYKT}(n) := \begin{cases} n \leftarrow \max(1, n) \\ \left(\begin{array}{ll} \text{"T"} & \text{ClimatYearYKT}_{n,1} \\ \text{"v"} & \text{ClimatYearYKT}_{n,2} \\ \text{"Tconst"} & \text{ClimatYearYKT}_{n,3} \end{array} \right) \end{cases}$

Выполняем моделирование теплопереноса в грунте

и определение температурной динамики на протяжении первого года

$R1 := \text{ModelFreeze}(G, P, \text{FunClimatYearYKT}, 365 \cdot 86400, 900, 1 \cdot 86400, 0.1)$

Дополнительно постройте на одном шаблоне 3 графика, показывающих, как в климатических условиях Якутска изменяется температура грунта на глубинах 0,1, 0,4 и 0,7 метров на протяжении года.

Задание 2.6. На графиках из предыдущего задания можно видеть, что к концу первого года моделирования (или, что то же самое, в начале второго года) расчетные элементы грунта имеют неодинаковую температуру, которая отличается от принятого в начале первого года значения -5 градусов. Необходимо проверить, насколько сильно влияет это расхождение в начальных условиях на температурную динамику грунта. Моделирование на протяжении второго года с соответствующими начальными условиями показано на рисунке.

Распределение температуры в грунте по окончании первого года

$$R1_{366} =$$

	1	2	3	4	5	6	7
1	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"
2	"b"	-37.243	-37.243	-37.243	-37.243	-37.243	-37.243
3	"b"	-32.643	-32.643	-32.643	-32.643	-32.643	-32.643
4	"b"	-28.069	-28.069	-28.069	-28.069	-28.069	-28.069
5	"b"	-23.754	-23.754	-23.754	-23.754	-23.754	-23.754
6	"b"	-19.712	-19.712	-19.712	-19.712	-19.712	-19.712
7	"b"	-15.915	-15.915	-15.915	-15.915	-15.915	-15.915
8	"b"	-12.322	-12.322	-12.322	-12.322	-12.322	-12.322
9	"b"	-8.874	-8.874	-8.874	-8.874	-8.874	-8.874
10	"b"	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5	...

Задаем начальное распределение температуры в грунте на начало второго года

$$G2 :=$$

"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"
"b"	-37.243	-37.243	-37.243	-37.243	-37.243	-37.243	-37.243	-37.243	"b"
"b"	-32.643	-32.643	-32.643	-32.643	-32.643	-32.643	-32.643	-32.643	"b"
"b"	-28.069	-28.069	-28.069	-28.069	-28.069	-28.069	-28.069	-28.069	"b"
"b"	-23.754	-23.754	-23.754	-23.754	-23.754	-23.754	-23.754	-23.754	"b"
"b"	-19.712	-19.712	-19.712	-19.712	-19.712	-19.712	-19.712	-19.712	"b"
"b"	-15.915	-15.915	-15.915	-15.915	-15.915	-15.915	-15.915	-15.915	"b"
"b"	-12.322	-12.322	-12.322	-12.322	-12.322	-12.322	-12.322	-12.322	"b"
"b"	-8.874	-8.874	-8.874	-8.874	-8.874	-8.874	-8.874	-8.874	"b"
"b"	"c"	"c"	"c"	"c"	"c"	"c"	"c"	"c"	"b"

Моделирование теплопереноса в грунте на протяжении второго года

$R2 := \text{ModelFreeze}(G2, P, \text{FunClimatYearYKT}, 365-86400, 900, 1-86400, 0.1)$

Дополнительно к рисунку требуется на одном шаблоне построить 2 графика, показывающих изменение температуры на глубине 0,5 м в течение года – первого и второго.

Задание 2.7. Создать матрицу **G** (описывающую размеры грунтового массива и начальное распределение температуры в нем), состоящую из единственного столбца с расчетными грунтовыми элементами. Выполнить моделирование температурной динамики на протяжении года в климатических условиях Якутска. На одном шаблоне построить графики, показывающие изменение температуры на глубине 0,4 м для двух моделей: состоящей из 8 столбцов с грунтовыми элементами и состоящей из одного столбца. Сделать вывод о том, какая модель более экономична по объему необходимых вычислительных ресурсов.

Задание 2.8. Необходимо исследовать влияние высоты грунтового массива (определяемого количеством строк в матрице **G**) на точность результатов моделирования. С этой целью для климатических условий Якутска нужно выполнить моделирование по 4 вариантам, с количеством строк в матрице **G** равном 20, 30, 40 и 50 (что при высоте расчетного элемента $\delta x=0,1$ м соответствует глубине моделируемого массива от 2 до 5 м). По результатам моделирования на одном шаблоне построить 4 графика, показывающих, как изменяется в течение года температура на глубине 1,5 м по каждому из вариантов. Сделать вывод, какая высота грунтового массива наиболее целесообразна при моделировании.

Задание 2.9. Необходимо на одном шаблоне построить 3 графика, показывающих изменение температуры грунта в течение года на глубине 0,5 м в климатических условиях Якутска, Уренгоя и Сусумана. Все необходимые вычисления для этого должны быть организованы самостоятельно, глубину моделируемого массива во всех случаях следует принимать 5 м.

Дополнительно построить по 3 графика на шаблонах, показывающих температурную динамику грунта на глубинах 1 м, 1,5 м и 2 м. Для всех 4 шаблонов назначить одинаковый масштаб температуры по вертикальной оси: наибольшее значение 10 градусов, наименьшее –30 градусов. Сделать вывод о том, как зависит изменчивость температуры грунта в течение года от глубины.

Лабораторная работа 3. Визуализация результатов моделирования

Задание 3.1. Воспроизведите в файле «Функции.xmcd» функцию для построения шкалы температур в грунтовом массиве, а также матрицу с опорными точками для ее построения.

Функция для отрисовки температурной шкалы

```

DrawScale(minT, maxT, wL, hL, colorMap) :=
  for j ∈ 1..wL
    T ← minT +  $\frac{(j - 1)}{wL} \cdot (maxT - minT)$ 
    mRGB ←  $\begin{pmatrix} \text{linterp}(\text{colorMap}^{(1)}, \text{colorMap}^{(2)}, T) \\ \text{linterp}(\text{colorMap}^{(1)}, \text{colorMap}^{(3)}, T) \\ \text{linterp}(\text{colorMap}^{(1)}, \text{colorMap}^{(4)}, T) \end{pmatrix}$ 
    for i ∈ 1..hL
      Ri,j ← mRGB1
      Gi,j ← mRGB2
      Bi,j ← mRGB3
   $\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$ 

```

Опорные точки для построения температурной шкалы

первый столбец - значение температуры,

столбцы со второго по четвертый - цветовые компоненты RED, GREEN и BLUE

```

ColorMapFull :=
   $\begin{pmatrix} -50 & 255 & 255 & 255 \\ -35 & 0 & 0 & 0 \\ -20 & 0 & 0 & 255 \\ -10 & 127 & 127 & 191 \\ -8 & 191 & 191 & 255 \\ -6 & 127 & 127 & 0 \\ -5 & 255 & 255 & 0 \\ -3 & 255 & 191 & 0 \\ -1 & 255 & 127 & 0 \\ 0 & 255 & 0 & 0 \\ 20 & 191 & 0 & 0 \\ 30 & 0 & 0 & 0 \\ 50 & 255 & 255 & 255 \end{pmatrix}$ 

```

Создайте файл «3.Визуализация результатов моделирования.xmcd» и подключите к нему файл «Функции.xmcd». В созданном файле сформируйте и отобразите на экране шкалу температур в диапазоне от –30 до +20 градусов, как показано на рисунке.

Формируем матрицу с точками цветовой шкалы:
диапазон температур от -30 до +20 градусов
размеры рисунка с температурной шкалой 400x50 точек
опорные точки шкалы - из матрицы ColorMapFull
`S := DrawScale(-30, 20, 400, 50, ColorMapFull)`

Отображаем цветовую шкалу как рисунок
(главное меню - **Вставка** - **Рисунок**)



S

Задание 3.2. Воспроизведите в файле «**Функции.xmcd**» функцию для цветовой визуализации температурного состояния грунта.

Функция для отрисовки распределения температуры в грунтовом массиве

```

DrawRoadT(MT,colorMap,kZx,kZy) :=
  for i ∈ 1..rows(MT)
    for j ∈ 1..cols(MT)
      if ¬IsString(MTi,j)
        T ← MTi,j
        Ri,j ← linterp(colorMap<1>,colorMap<2>,T)
        Gi,j ← linterp(colorMap<1>,colorMap<3>,T)
        Bi,j ← linterp(colorMap<1>,colorMap<4>,T)
      otherwise
        Ri,j ← 255
        Gi,j ← 255
        Bi,j ← 255
  rowsZ ← round(kZy·rows(MT))
  colsZ ← round(kZx·cols(MT))
  δZy ← 1/kZy
  δZx ← 1/kZx
  for iZ ∈ 1..rowsZ
    for jZ ∈ 1..colsZ
      xZ ← 1 + (iZ - 0.5)·δZy
      yZ ← 1 + (jZ - 0.5)·δZx
      nRow ← floor(xZ)
      nCol ← floor(yZ)
      if (nRow ≠ 1) ∧ (nRow ≠ rows(MT)) ∧ (nCol ≠ 1) ∧ (nCol ≠ cols(MT))
        for i ∈ 1..3
          XRi ← linterp  $\begin{bmatrix} nCol - 0.5 \\ nCol + 0.5 \\ nCol + 1.5 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} R_{nRow-2+i,nCol-1} \\ R_{nRow-2+i,nCol} \\ R_{nRow-2+i,nCol+1} \end{bmatrix}, yZ$ 
          XGi ← linterp  $\begin{bmatrix} nCol - 0.5 \\ nCol + 0.5 \\ nCol + 1.5 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} G_{nRow-2+i,nCol-1} \\ G_{nRow-2+i,nCol} \\ G_{nRow-2+i,nCol+1} \end{bmatrix}, yZ$ 

```

```

        XBi ← linterp  $\begin{bmatrix} \text{nCol} - 0.5 \\ \text{nCol} + 0.5 \\ \text{nCol} + 1.5 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} B_{\text{nRow}-2+i, \text{nCol}-1} \\ B_{\text{nRow}-2+i, \text{nCol}} \\ B_{\text{nRow}-2+i, \text{nCol}+1} \end{bmatrix}, yZ$ 

        RZiZ, jZ ← linterp  $\begin{bmatrix} \text{nRow} - 0.5 \\ \text{nRow} + 0.5 \\ \text{nRow} + 1.5 \end{bmatrix}, XR, xZ$ 

        GZiZ, jZ ← linterp  $\begin{bmatrix} \text{nRow} - 0.5 \\ \text{nRow} + 0.5 \\ \text{nRow} + 1.5 \end{bmatrix}, XG, xZ$ 

        BZiZ, jZ ← linterp  $\begin{bmatrix} \text{nRow} - 0.5 \\ \text{nRow} + 0.5 \\ \text{nRow} + 1.5 \end{bmatrix}, XB, xZ$ 

    otherwise
        RZiZ, jZ ← 0
        GZiZ, jZ ← 0
        BZiZ, jZ ← 0
    1
if kZx > 1
    d ← floor(kZx)
    RZ ← submatrix(RZ, 1, rows(RZ), d, cols(RZ) - d + 1)
    GZ ← submatrix(GZ, 1, rows(GZ), d, cols(GZ) - d + 1)
    BZ ← submatrix(BZ, 1, rows(BZ), d, cols(BZ) - d + 1)
if kZy > 1
    d ← floor(kZy)
    RZ ← submatrix(RZ, d, rows(RZ) - d + 1, 1, cols(RZ))
    GZ ← submatrix(GZ, d, rows(GZ) - d + 1, 1, cols(GZ))
    BZ ← submatrix(BZ, d, rows(BZ) - d + 1, 1, cols(BZ))
(RZ)
(GZ)
(BZ)

```

В документе «3.Визуализация результатов моделирования.xmcd» отобразите температурное состояние грунта по итогам задания 2.2, включая построение соответствующей температурной шкалы.

Распределение температуры в грунте по результатам задания 2.2 (на 50-й день)

$$T42 := \begin{pmatrix} \text{"a"} & \text{"a"} & \text{"a"} & \text{"a"} & \text{"a"} & \text{"a"} & \text{"a"} & \text{"a"} & \text{"a"} & \text{"a"} \\ \text{"b"} & 7.991 & 7.991 & 7.991 & 7.991 & 7.991 & 7.991 & 7.991 & 7.991 & \text{"b"} \\ \text{"b"} & 5.228 & 5.228 & 5.228 & 5.228 & 5.228 & 5.228 & 5.228 & 5.228 & \text{"b"} \\ \text{"b"} & 2.536 & 2.536 & 2.536 & 2.536 & 2.536 & 2.536 & 2.536 & 2.536 & \text{"b"} \\ \text{"b"} & -0.102 & -0.102 & -0.102 & -0.102 & -0.102 & -0.102 & -0.102 & -0.102 & \text{"b"} \\ \text{"b"} & -1.264 & -1.264 & -1.264 & -1.264 & -1.264 & -1.264 & -1.264 & -1.264 & \text{"b"} \\ \text{"b"} & -2.393 & -2.393 & -2.393 & -2.393 & -2.393 & -2.393 & -2.393 & -2.393 & \text{"b"} \\ \text{"b"} & -3.471 & -3.471 & -3.471 & -3.471 & -3.471 & -3.471 & -3.471 & -3.471 & \text{"b"} \\ \text{"b"} & -4.5 & -4.5 & -4.5 & -4.5 & -4.5 & -4.5 & -4.5 & -4.5 & \text{"b"} \\ \text{"b"} & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & \text{"b"} \end{pmatrix}$$

Формируем матрицу с точками, отражающими температуры отдельных точек грунта
температура точек грунта - из матрицы T42

опорные температуры - из матрицы ColorMapFull

увеличение размера рисунка - в 20 раз по горизонтали и в 10 раз по вертикали

PT := DrawRoadT(T42, ColorMapFull, 20, 10)

Цветовое отображение температурного состояния грунта



PT

Температурная шкала от -30 градусов (левый край) до +20 градусов (правый край)



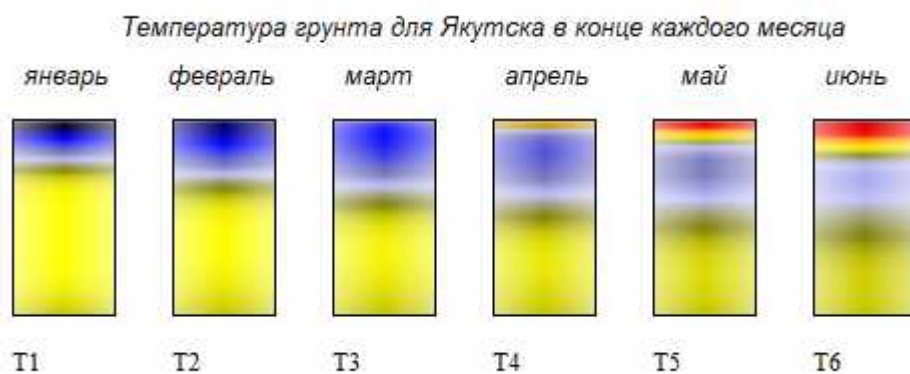
S

Задание 3.3. С помощью цветовой гаммы отобразите распределение температуры в грунте Якутска на 160-й день года (необходимо использовать результаты моделирования из задания 2.8 при использовании модели грунта высотой 5 м). Результат показан на рисунке.



PT160

Задание 3.4. С помощью цветовой гаммы отобразите распределение температуры в грунте Якутска по состоянию на конец каждого месяца года (по результатам моделирования из задания 2.8, модель грунта высотой 5 м). Результат для первых 6 месяцев показан на рисунке.



Лабораторная работа 4. Проектирование оснований инфраструктурных объектов ТДК

Задание 4.1. Воспроизведите в файле «Функции.xmcd» таблицы для определения прочности грунтов и функцию определения несущей способности грунта в заданной точке.

Расчетные давления R1 (МПа) под нижним концом сваи

первый столбец - глубина, м

первая строка - температура грунта, градусов

$$R1_{sand} := \begin{pmatrix} "" & -0.3 & -0.5 & -1 & -1.5 & -2 & -2.5 & -3 & -3.5 & -4 & -6 & -8 & -10 & -15 \\ 5 & 0.85 & 1.3 & 1.4 & 1.5 & 1.7 & 1.9 & 1.9 & 2 & 2.1 & 2.6 & 3 & 3.5 & 3.5 \\ 10 & 1 & 1.55 & 1.65 & 1.75 & 2 & 2.1 & 2.2 & 2.3 & 2.5 & 3 & 3.5 & 4 & 4 \\ 15 & 1.1 & 1.7 & 1.8 & 1.9 & 2.2 & 2.3 & 2.4 & 2.5 & 2.7 & 3.3 & 3.8 & 4.3 & 4.3 \end{pmatrix} \quad \text{- песок}$$

$$R1_{clay} := \begin{pmatrix} "" & -0.3 & -0.5 & -1 & -1.5 & -2 & -2.5 & -3 & -3.5 & -4 & -6 & -8 & -10 & -15 \\ 5 & 0.65 & 0.75 & 0.85 & 0.95 & 1.1 & 1.2 & 1.3 & 1.4 & 1.5 & 1.8 & 2.3 & 2.8 & 2.8 \\ 10 & 0.8 & 0.85 & 0.95 & 1.1 & 1.25 & 1.35 & 1.45 & 1.6 & 1.7 & 2 & 2.6 & 3 & 3 \\ 15 & 0.9 & 0.95 & 1.1 & 1.25 & 1.4 & 1.5 & 1.6 & 1.8 & 1.9 & 2.2 & 2.9 & 3.5 & 3.5 \end{pmatrix} \quad \text{- глина}$$

Расчетные давления R2 (МПа) под подошвой фундамента

первая строка - температура грунта, градусов

$$R2_{sand} := \begin{pmatrix} -0.3 & -0.5 & -1 & -1.5 & -2 & -2.5 & -3 & -3.5 & -4 & -6 & -8 & -10 & -15 \\ 0.45 & 0.7 & 0.9 & 1.1 & 1.3 & 1.4 & 1.6 & 1.7 & 1.8 & 2.2 & 2.55 & 2.85 & 2.85 \end{pmatrix}$$

$$R2_{clay} := \begin{pmatrix} -0.3 & -0.5 & -1 & -1.5 & -2 & -2.5 & -3 & -3.5 & -4 & -6 & -8 & -10 & -15 \\ 0.25 & 0.45 & 0.55 & 0.65 & 0.8 & 0.9 & 1 & 1.1 & 1.2 & 1.55 & 1.9 & 2.2 & 2.2 \end{pmatrix}$$

Расчетные сопротивления R3 (МПа) сдвигу по боковой поверхности

первая строка - температура грунта, градусов

$$R3_{sand} := \begin{pmatrix} -0.3 & -0.5 & -1 & -1.5 & -2 & -2.5 & -3 & -3.5 & -4 & -6 & -8 & -10 & -15 \\ 0.08 & 0.12 & 0.17 & 0.21 & 0.24 & 0.27 & 0.3 & 0.32 & 0.34 & 0.42 & 0.48 & 0.54 & 0.54 \end{pmatrix}$$

$$R3_{clay} := \begin{pmatrix} -0.3 & -0.5 & -1 & -1.5 & -2 & -2.5 & -3 & -3.5 & -4 & -6 & -8 & -10 & -15 \\ 0.05 & 0.08 & 0.12 & 0.15 & 0.17 & 0.19 & 0.21 & 0.23 & 0.25 & 0.3 & 0.34 & 0.38 & 0.38 \end{pmatrix}$$

Функция определения несущей способности грунта в заданной точке:

h - глубина точки, м

T - температура в заданной точке, градусов

typ - тип грунта ("sand" или "clay")

Tbf - температура замерзания грунта, градусов

$$\text{GetR}(h, T, \text{typ}, Tbf) := \begin{cases} \text{if } \text{typ} = \text{"sand"} \\ \quad \text{return} \begin{pmatrix} 0.3 \\ 0.3 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \text{if } T \geq Tbf \\ \quad R1 \leftarrow R1_{sand} \\ \quad R2 \leftarrow R2_{sand}^T \\ \quad R3 \leftarrow R3_{sand}^T \end{cases}$$

```

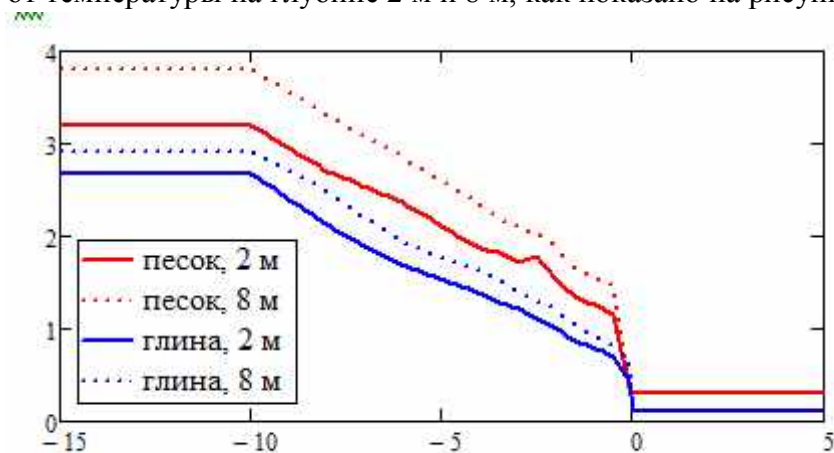
if typ = "clay"
    return  $\begin{pmatrix} 0.1 \\ 0.1 \\ 0 \end{pmatrix}$  if  $T \geq T_{bf}$ 
    R1  $\leftarrow$  R1clay
    R2  $\leftarrow$  R2clayT
    R3  $\leftarrow$  R3clayT
    return  $\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$  otherwise

R1T  $\leftarrow$  reverse(submatrix(R1, 1, 1, 2, cols(R1))T)
R1h  $\leftarrow$  submatrix(R1, 2, rows(R1), 1, 1)
R11  $\leftarrow$  submatrix(R1, 2, rows(R1), 2, cols(R1))T
for i  $\in$  1..cols(R11)
    vi  $\leftarrow$  linterp(R1T, reverse(R11(i)), T)
     $\begin{pmatrix} \text{linterp}(R1h, v, h) \\ \text{linterp}(\text{reverse}(R2^{(1)}), \text{reverse}(R2^{(2)}), T) \\ \text{linterp}(\text{reverse}(R3^{(1)}), \text{reverse}(R3^{(2)}), T) \end{pmatrix}$ 

```

Задание 4.2. Создайте документ MathCad «4-1.Проектирование оснований.xmcd» и подключите к нему файл «Функции.xmcd».

Для песчаного и глинистого грунтов постройте графики изменения их прочности **R1** в зависимости от температуры на глубине 2 м и 8 м, как показано на рисунке.



Задание 4.3. В файле «Функции.xmcd» воспроизведите функцию вычисления несущей способности сваи, как показано на следующем рисунке.

Функция вычисления несущей способности сваи

```
CalcN(b,L,typ,MT) :=
  Tbf ←
    -0.1 if typ = "sand"
    -0.25 if typ = "clay"
    0 otherwise
  return 0 if Tbf = 0
  N ← 0
  δh ← 0.2
  for h0 ∈ δh, 2·δh..L
    h ← h0 - 0.5·δh
    T ← GetT(0.05,h,MT,0.1)
    R ← GetR(h,T,typ,Tbf)
    N ← N + 4·b·δh·R3
  T ← GetT(0.05,L,MT,0.1)
  R ← GetR(h,T,typ,Tbf)
  N ← N + b2·R1
  1000·N
```

В документе «4-1.Проектирование оснований.xmcd.xmcd» сформируйте файл с температурной динамикой песчаного грунта Якутска; общая последовательность необходимых для этого действий показана на рисунке.

Модель климата Якутска (*ClimatYearYKT*)



Функция, возвращающая климатические параметры Якутска (*FunClimatYearYKT*)



Матрица, описывающая грунтовый массив глубиной 5 м (*G5*)



Теплофизические параметры песчаного грунта (*P*)



Температурная динамика грунта для Якутска (*R5_YKT*)

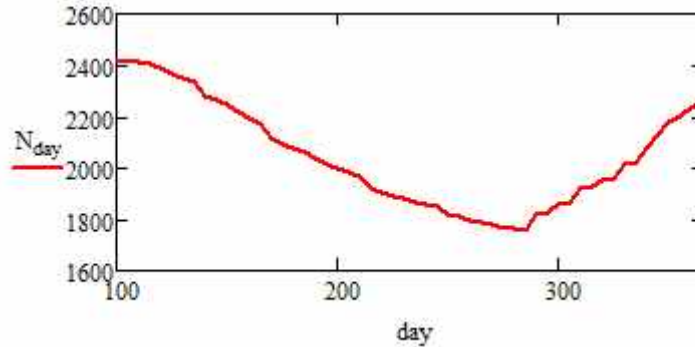


Постройте график изменения в течение года несущей способности сваи сечением 30x30 см и высотой 4 м, расположенной в песчаном грунте Якутска, как показано на рисунке.

Вычисляем несущую способность сваи 30х30 см и длиной 4 м
в песчаном грунте Якутска в различные дни года

```
day := 100, 105.. 365
Nday := CalcN(0.3, 4, "sand", R5_YKTday)
```

Изменение несущей способности сваи в течение года



Задание 4.4. В файле «Функции.xmcd» воспроизведите функцию выявления минимальной несущей способности сваи в течение года, как показано на следующем рисунке.

Функция выявления минимальной (в течение года) несущей способности сваи

```
SearchMinN(b, L, typ, allT) := 
    minInfo1,2 ← 1010
    for day ∈ 100, 101..rows(allT)
        N ← CalcN(b, L, typ, allTday)
        minInfo ← ( "Nmin, кН"   N
                   "minDay"    day ) if N < minInfo1,2
    minInfo
```

В документе «4-1.Проектирование оснований.xmcd» проверьте работоспособность функции:

$$\text{SearchMinN}(0.3, 4, \text{"sand"}, R5_YKT) = \begin{pmatrix} \text{"Nmin, кН"} & 1757.03 \\ \text{"minDay"} & 285 \end{pmatrix}$$

Задание 4.5. В документе «4-1.Проектирование оснований.xmcd» воспроизведите показанную на рисунке последовательность действий по прогнозированию климатических рисков (включая пояснения).

Климат Якутска при потеплении воздуха на +2 градуса: в матрице **ClimatYearYKT2** все значения температур в первом столбце увеличиваются на +2, остальные столбцы (скорость ветра и температура вечной мерзлоты) без изменений

$\text{ClimatYearYKT2} := \text{ClimatYearYKT}$

$\text{nPeriod} := 1.. \text{rows}(\text{ClimatYearYKT})$

$\text{ClimatYearYKT2}_{\text{nPeriod},1} := \text{ClimatYearYKT}_{\text{nPeriod},1} + 2$

Функция определения климатических параметров для измененного климата

$\text{FunClimatYearYKT2}(n) := \begin{cases} n \leftarrow \max(1, n) \\ \begin{pmatrix} \text{"T"} & \text{ClimatYearYKT2}_{n,1} \\ \text{"v"} & \text{ClimatYearYKT2}_{n,2} \\ \text{"Tconst"} & \text{ClimatYearYKT2}_{n,3} \end{pmatrix} \end{cases}$

Температурная динамика грунта для измененного климата (потепление на +2 градуса)

$\text{R5_YKT2} := \text{ModelFreeze}(\text{G5}, \text{P}, \text{FunClimatYearYKT2}, 365 \cdot 86400, 900, 1 \cdot 86400, 0.1)$

Минимальная несущая способность сваи (0,3 x 0,3 x 4 м) в расчетном климате (**minN0**) и в случае потепления на +2 градуса (**minN2**)

$\text{minN0} := \text{SearchMinN}(0.3, 4, \text{"sand"}, \text{R5_YKT})_{1,2} = 1757.03$

$\text{minN2} := \text{SearchMinN}(0.3, 4, \text{"sand"}, \text{R5_YKT2})_{1,2} = 1711.818$

Климатический риск (0 - риск отсутствует, 1 - риск максимальный)

$\text{ClimateRisk} := \frac{\text{minN0} - \text{minN2}}{\left(\text{minN0} \cdot \frac{2}{7}\right)} = 0.09$

Задание 4.6. Воспроизведите в файле «**Функции.xmcd**» операторы, показанные на рисунке.

Теплофизические характеристики песчаного и глинистого грунта

$$\text{sandP} := \begin{pmatrix} "W, \text{ кг/куб.м}" & 200 \\ "\lambda, \text{ Вт/(куб.м}^{\circ}\text{C)}" & 1.5 \\ "C, \text{ МДж/куб.м}^{\circ}\text{C}" & 2.5 \\ "Tbf, \text{ }^{\circ}\text{C}" & -0.1 \end{pmatrix} \quad \text{clayP} := \begin{pmatrix} "W, \text{ кг/куб.м}" & 350 \\ "\lambda, \text{ Вт/(куб.м}^{\circ}\text{C)}" & 2.5 \\ "C, \text{ МДж/куб.м}^{\circ}\text{C}" & 4.3 \\ "Tbf, \text{ }^{\circ}\text{C}" & -0.25 \end{pmatrix}$$

Функция моделирования температурной динамики в грунтовом массиве размерами $B \times H$

$$\text{BuildGroundT}(B, H, \delta x, \text{typ}, \text{Climat}, \Delta t, \Delta t_{\text{Save}}) := \begin{array}{l} nH \leftarrow \text{round}\left(\frac{H}{\delta x}\right) + 1 \\ nB \leftarrow \text{round}\left(\frac{B}{\delta x}\right) + 2 \\ T0 \leftarrow \text{Climat}_{1,3} \\ \text{for } i \in 1..nH \\ \quad \text{for } j \in 1..nB \\ \quad \quad \left| \begin{array}{l} G_{i,j} \leftarrow "a" \text{ if } i = 1 \\ \text{otherwise} \\ \quad \left| \begin{array}{l} G_{i,j} \leftarrow "b" \text{ if } (j = 1) \vee (j = nB) \\ \text{otherwise} \\ \quad \left| \begin{array}{l} G_{i,j} \leftarrow "c" \text{ if } i = nH \\ G_{i,j} \leftarrow T0 \text{ otherwise} \end{array} \right. \end{array} \right. \\ f(n) \leftarrow \left(\begin{array}{ll} n \leftarrow \max(1, n) \\ \left(\begin{array}{ll} "T" & \text{Climat}_{n,1} \\ "v" & \text{Climat}_{n,2} \\ "Tconst" & \text{Climat}_{n,3} \end{array} \right) \end{array} \right) \\ tModel \leftarrow \text{rows}(\text{Climat}) \cdot \Delta t \\ P \leftarrow \left(\begin{array}{l} \text{sandP} \text{ if } \text{typ} = "sand" \\ \text{clayP} \text{ if } \text{typ} = "clay" \end{array} \right) \\ GT \leftarrow \text{ModelFreeze}(G, P, f, tModel, \Delta t, \Delta t_{\text{Save}}, \delta x) \\ GT \end{array}$$

Функция вычисления климатического риска для сваи сечением $b \times b$ и высотой L

$$\text{CalcRiskN}(b, L, \text{typ}, \text{GroundT1}, \text{GroundT2}) := \begin{array}{l} \text{minN1} \leftarrow \text{SearchMinN}(b, L, \text{typ}, \text{GroundT1})_{1,2} \\ \text{minN2} \leftarrow \text{SearchMinN}(b, L, \text{typ}, \text{GroundT2})_{1,2} \\ \text{Risk} \leftarrow \frac{\text{minN1} - \text{minN2}}{\left(\text{minN1} \cdot \frac{2}{7} \right)} \\ 1000 \cdot \text{Risk} \end{array}$$

Задание 4.7. Создайте документ MathCad «4-2.Проектирование оснований.xmcd» и подключите к нему файл «Функции.xmcd».

Проверьте работоспособность функций из задания 4.5 при вычислении риска для сваи 0,3х0,3х6 м в глинистом грунте Якутска при потеплении на +2 градуса, как показано на рисунке.

Алгоритм прогнозирования климатического риска

Шаг 1. Строим модель базового (неизмененного) климата в матрице **ClimatYearYKT** и измененного климата (потепление на +2 градуса) в матрице **ClimatYearYKT2**

```
ClimatYearYKT := MakePΔt(DClimateYKT, -5.5, 900)
ClimatYearYKT2 := ClimatYearYKT
nPeriod := 1..rows(ClimatYearYKT)
ClimatYearYKT2nPeriod, 1 := ClimatYearYKT2nPeriod, 1 + 2
```

Шаг 2. Моделируем температурную динамику грунта (глинистого) в условиях базового климата (**DT0**) и в условиях измененного климата (**DT2**) Глубина моделируемого грунтового массива принята 8 м.

```
clayDT0 := BuildGroundT(0.1, 8, 0.1, "clay", ClimatYearYKT, 900, 86400)
clayDT2 := BuildGroundT(0.1, 8, 0.1, "clay", ClimatYearYKT2, 900, 86400)
```

Шаг 3. Вычисляем климатический риск для сваи 0,3х0,3х6 м (диапазон возможных значений риска от 0 до 1000)

```
clayRisk := CalcRiskN(0.3, 6, "clay", clayDT0, clayDT2) = 78
```

Задание 4.8. Постройте графики, отражающие изменение климатического риска (при потеплении климата Якутска на +2 градуса) в зависимости от высоты сваи (от 3 до 7 м) сечением 0,3х0,3 м. Необходимо на одном шаблоне построить 2 графика – для песчаных почв и для глинистых почв. Сделать вывод, какой из типов почвы представляет наибольшую опасность для свайных фундаментов в условиях потепления климата.

Задание 4.9. Повторите задание 4.8 для климатических условий Уренгоя и Сусумана. Сделайте вывод, в каких климатических условиях (соответствующих Якутску, Уренгюю или Сусуману) климатические риски для свайных фундаментов максимальны.

Задание 4.10. Создайте документ MathCad «4-3.Проектирование оснований.xmcd» и подключите к нему файл «Функции.xmcd».

Воспроизведите в файле «Функции.xmcd» операторы, показанные на рисунке.

Расчет коэффициента рассеивания напряжений в грунте

L, B - размеры площадки, по которой равномерно распределена нагрузка p

x, y, z - координаты точки (начало координат в центре площадки)

Напряжения в точке $\sigma = \alpha p$

```
Calc_α(L,B,x,y,z) :=  
  d ← min(0.5L - |x|, 0.5B - |y|)  
  k ←  $\frac{z}{|d|}$   
  if k < 0.3  
    | return 1 if d > 0  
    | return 0 otherwise  
  n ← max(25, round( $\frac{3 \max(B,L)}{z}$ ))  
  δB ←  $\frac{B}{n}$   
  δL ←  $\frac{L}{n}$   
  xP ← x + 0.5L  
  yP ← y + 0.5B  
  S ← 0  
  for i ∈ 1..n  
    for j ∈ 1..n  
      | x ← i·δL - 0.5·δL  
      | y ← j·δB - 0.5·δB  
      | r ←  $\sqrt{(x - xP)^2 + (y - yP)^2}$   
      | k ←  $\frac{3}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{\left[1 + \left(\frac{r}{z}\right)^2\right]^5}}$   
      | S ← S + k  
  α ← S ·  $\frac{\delta L \cdot \delta B}{z^2}$   
  α
```

Определение доли нагрузки, воспринимаемой грунтом на глубине z

L, B - размеры площадки при z=0, по которой равномерно распределена нагрузка

LR, BR - размеры площадки на глубине z

Центры площадок LxВ и LRxBR находятся на одной вертикальной оси

```
CalcReaction(L,B,LR,BR,z) :=
  n ← 10
  δLR ←  $\frac{LR}{n}$ 
  δBR ←  $\frac{BR}{n}$ 
  δSR ← δLR·δBR
  S ← 0
  for i ∈ 1..n
    for j ∈ 1..n
      x ← i·δLR - 0.5·δLR - 0.5·LR
      y ← j·δBR - 0.5·δBR - 0.5·BR
      Mα1,j ← Calc_α(L,B,x,y,z)
      S ← S + Mα1,j
  S ← S· $\frac{(LR·BR)}{n^2·L·B}$ 
   $\begin{pmatrix} S \\ M\alpha \end{pmatrix}$ 
```

Расчет несущей способности ленточного фундамента размерами bхL при глубине его заложения H

```
CalcP(b,L,H,typ,MT) :=
  Tbf ←  $\begin{cases} -0.1 & \text{if typ = "sand"} \\ -0.25 & \text{if typ = "clay"} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$ 
  return 0 if Tbf = 0
  δh ← 0.1
  P ← 1010
  for i ∈ 1..21
    h ← H + (i - 1)·δh
    T ← GetT(0.05,h,MT,0.1)
    R ← GetR(h,T,typ,Tbf)
    k ← CalcReaction(L,b,L,b,H-h)1
    currP ←  $\frac{b·L·R_2}{k}$ 
    P ← currP if currP < P
  P·1000
```

Проверьте работоспособность функций, построив в документе MathCad «4-3.Проектирование оснований.xmcd» графики изменения в течение года (начиная с 100-х суток) несущей способности ленточного фундамента (размерами 2х1 м и глубиной заложения 0,7 м) в климатических условиях Якутска, при наличии песчаных и глинистых

грунтов, как показано на рисунке. Глубину моделируемого грунтового массива (при определении годовой температурной динамики грунта) в целях убыстрения расчета следует принять равной 5 м.

Моделируем базовый климат Якутска на протяжении 1 года

`ClimatYearYKT := MakePΔt(DClimateYKT, -5.5, 900)`

Температурная динамика грунта (песок и глина)

`clayDT0 := BuildGroundT(0.1, 5, 0.1, "clay", ClimatYearYKT, 900, 86400)`

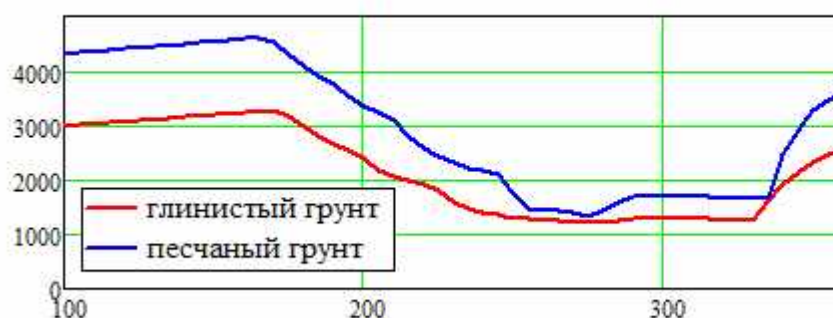
`sandDT0 := BuildGroundT(0.1, 5, 0.1, "sand", ClimatYearYKT, 900, 86400)`

Годовая динамика несущей способности ленточного фундамента 2x1 м на глубине 0,7 м

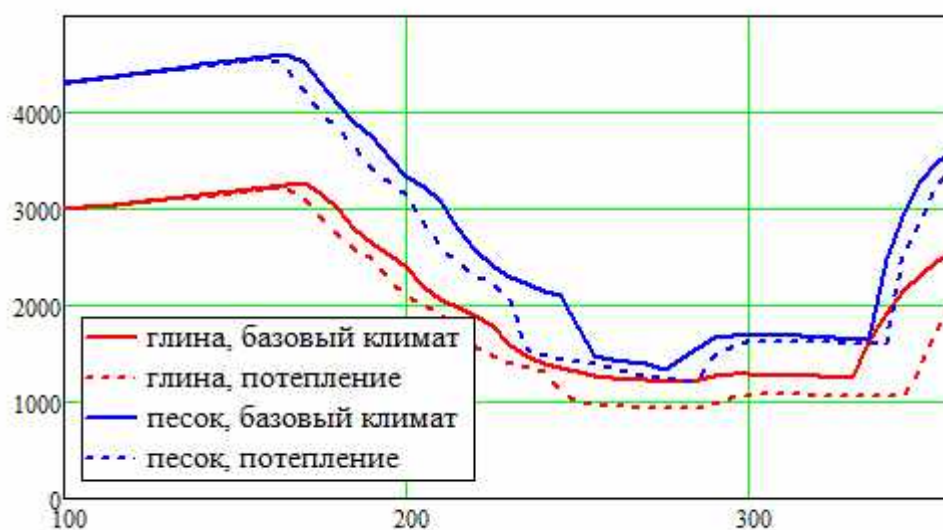
`day := 100, 105.. 360`

`cPday := CalcP(1, 2, 0.7, "clay", clayDT0day)`

`sPday := CalcP(1, 2, 0.7, "sand", sandDT0day)`



Задание 4.11. Дополните графики из предыдущего задания, отразив на них также и годовую динамику несущей способности в условиях потепления на +2 градуса, как показано на рисунке.



Задание 4.12. Воспроизведите в файле «Функции.xmcd» функцию выявления минимальной за год несущей способности ленточного фундамента.

$$\text{SearchMinP}(b, L, H, \text{typ}, \text{allT}) := \left| \begin{array}{l} \text{minInfo}_{1,2} \leftarrow 10^{10} \\ \text{for } \text{day} \in 100, 101 \dots \text{rows}(\text{allT}) \\ \quad P \leftarrow \text{CalcP}(b, L, H, \text{typ}, \text{allT}_{\text{day}}) \\ \quad \text{minInfo} \leftarrow \begin{pmatrix} \text{"Pmin, кН"} & P \\ \text{"minDay"} & \text{day} \end{pmatrix} \text{ if } P < \text{minInfo}_{1,2} \\ \text{minInfo} \end{array} \right|$$

Проверьте работоспособность функции, вычислив в документе «**4-3.Проектирование оснований.xmcd**» минимальную несущую способность фундамента в песчаном и в глинистом грунте.

Минимальная за год несущая способность фундамента 2x1 м глубиной 0,7 м

$\text{SearchMinP}(1, 2, 0, 7, \text{"sand"}, \text{sandDT0}) = \begin{pmatrix} \text{"Pmin, кН"} & 1331.2 \\ \text{"minDay"} & 276 \end{pmatrix}$ - песчаный грунт, базовый климат

$\text{SearchMinP}(1, 2, 0, 7, \text{"clay"}, \text{clayDT2}) = \begin{pmatrix} \text{"Pmin, кН"} & 929.3 \\ \text{"minDay"} & 284 \end{pmatrix}$ - глинистый грунт, потепление +2 градуса

Задание 4.13. Воспроизведите в файле «**Функции.xmcd**» функцию вычисления климатического риска для ленточного фундамента.

Функция вычисления климатического риска для ленточного фундамента bхL глубиной H

$$\text{CalcRiskP}(b, L, H, \text{typ}, \text{GroundT1}, \text{GroundT2}) := \left| \begin{array}{l} \text{minN1} \leftarrow \text{SearchMinP}(b, L, H, \text{typ}, \text{GroundT1})_{1,2} \\ \text{minN2} \leftarrow \text{SearchMinP}(b, L, H, \text{typ}, \text{GroundT2})_{1,2} \\ \text{Risk} \leftarrow \min \left[1, \frac{\text{minN1} - \text{minN2}}{\left(\text{minN1} \cdot \frac{3}{13} \right)} \right] \\ \text{max}(1000 \cdot \text{Risk}, 0) \end{array} \right|$$

Проверьте работоспособность функции, вычислив в документе «**4-3.Проектирование оснований.xmcd**» климатический риск для фундамента 1x2 м глубиной 0,7 м при потеплении климата Якутска на +2 градуса (температурная динамика для песчаного и глинистого грунта **sandDT2** и **clayDT2** в условиях измененного климата была получена в задании 4.11):

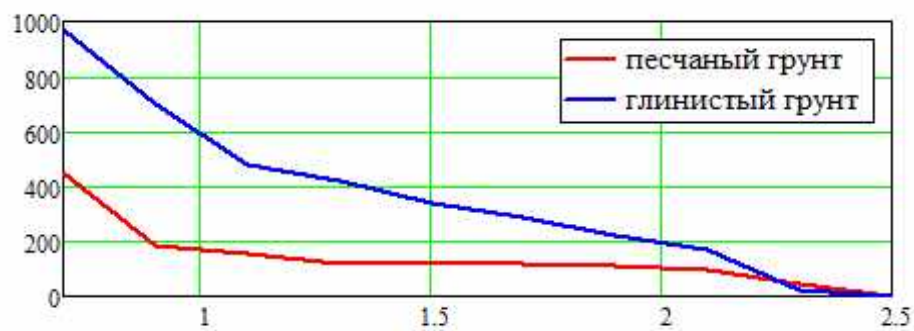
Климатический риск (в диапазоне от 0 до 1000)

для ленточного фундамента в Якутске при потеплении на +2 градуса

$\text{CalcRiskP}(1, 2, 0, 7, \text{"sand"}, \text{sandDT0}, \text{sandDT2}) = 447$ - песчаный грунт

$\text{CalcRiskP}(1, 2, 0, 7, \text{"clay"}, \text{clayDT0}, \text{clayDT2}) = 972$ - глинистый грунт

Задание 4.14. Постройте графики, показывающие изменение климатического риска по мере увеличения глубины ленточного фундамента в песчаном и глинистом грунте (в климатических условиях Якутска).



Задание 4.15. Дополните графики из задания 4.14 аналогичными зависимостями для климатических условий Уренгоя и Сусумана (по 2 графика на каждый пункт, для песчаных и глинистых грунтов).

Сделайте вывод, в каких климатических условиях (Якутска, Уренгоя или Сусумана) климатические риски для ленточных фундаментов наименьшие.

Лабораторная работа 5. Проектирование автодорожного профиля

Задание 5.1. Создайте документ MathCad «**5-1.Проектирование автодорожного профиля.xmcd**» и подключите к нему файл «**Функции.xmcd**». Воспроизведите в файле «**Функции.xmcd**» функцию вычисления осадки оттаивающего грунта:

Функция вычисления осадки оттаивающего грунта

(в матрице температур грунта **MT** рассматриваются только колонки от **cStart** до **cFin**)

```
CalcSed(typ, MT, cStart, cFin, dx) :=
  S0 ←  $\begin{cases} (0.2 \ 0.02 \ 0.3)^T & \text{if typ = "sand"} \\ (0.15 \ 0.08 \ 0.9)^T & \text{if typ = "clay"} \\ (0 \ 0 \ 0)^T & \text{otherwise} \end{cases}$ 
  Tbf ←  $\begin{cases} -0.1 & \text{if typ = "sand"} \\ -0.25 & \text{if typ = "clay"} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$ 
  p ← 0.225
  n ← 0
  for j ∈ cStart..cFin
    n ← n + 1
    nMelt ← 0
    for i ∈ 1..rows(MT)
      T ← MTi,j
      if -IsString(T)
        nMelt ← nMelt + 1
        if T < Tbf
          iMax ← i
          break
    if nMelt = 1
      h0 ←  $\frac{|MT_{iMax,j} - Tbf|}{MT_{iMax,j} - MT_{iMax+1,j}}$ 
      h ← max[dx·(0.5 - h0), 0] if h0 > 0
      h ← 0 otherwise
    otherwise
      h ←  $\delta x \cdot \left( \frac{MT_{iMax-1,j} - Tbf}{MT_{iMax-1,j} - MT_{iMax,j}} + nMelt - 1.5 \right)$ 
      1
    Sn ← max(S01, S02 + S03·p)·h
    Hn ← h
  ( ("Средняя осадка, м" mean(S)
    "Максимальная осадка, м" max(S)
    "Максимальное оттаивание, м" max(H) )
```

Проверьте работоспособность функции, определив в документе «**5-1.Проектирование автодорожного профиля.xmcd**» осадку в песчаном и глинистом грунте Якутска на 250-е сутки года (как показано на рисунке). Высоту моделируемого грунтового массива в целях сокращения времени расчета допускается принять равной 2,5 м.

Моделируем базовый климат Якутска на протяжении 1 года
 $\text{ClimatYearYKT} := \text{MakeP}\Delta t(\text{DClimatYKT}, -5.5, 900)$

Температурная динамика грунта (песок и глина)

$\text{clayDT0} := \text{BuildGroundT}(0.1, 2.5, 0.1, \text{"clay"}, \text{ClimatYearYKT}, 900, 86400)$

$\text{sandDT0} := \text{BuildGroundT}(0.1, 2.5, 0.1, \text{"sand"}, \text{ClimatYearYKT}, 900, 86400)$

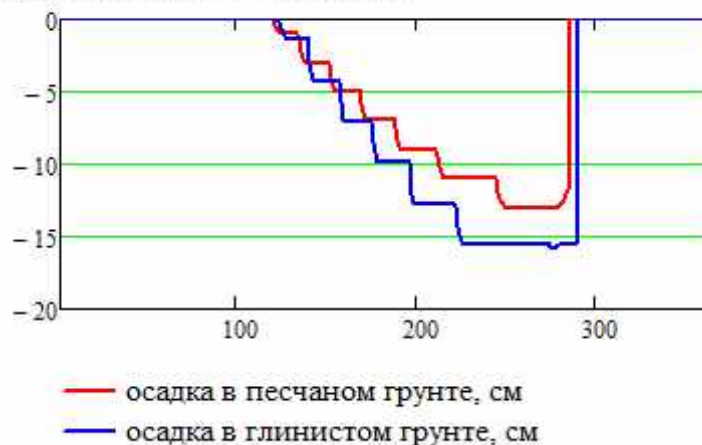
Осадки в грунтах Якутска (песок и глина) на 250-е сутки года

$\text{CalcSed}(\text{"sand"}, \text{sandDT0}_{250}, 2, 2, 0.1) = \begin{pmatrix} \text{"Средняя осадка, м"} & 0.13 \\ \text{"Максимальная осадка, м"} & 0.13 \\ \text{"Максимальное оттаивание, м"} & 0.65 \end{pmatrix}$

$\text{CalcSed}(\text{"clay"}, \text{clayDT0}_{250}, 2, 2, 0.1) = \begin{pmatrix} \text{"Средняя осадка, м"} & 0.155 \\ \text{"Максимальная осадка, м"} & 0.155 \\ \text{"Максимальное оттаивание, м"} & 0.55 \end{pmatrix}$

Задание 5.2. В документе «5-1.Проектирование автодорожного профиля.xmcd» постройте графики изменения осадки в песчаном и глинистом грунте Якутска на протяжении года (начиная со вторых суток). Величину осадки, определяемую функцией из задания 5.1, необходимо использовать со знаком «минус», результат показан на рисунке.

Изменение осадки в течение года



Задание 5.3. Дополните результат из задания 5.2 двумя графиками, показывающими годовое изменение осадки в песчаных и глинистых грунтах Якутска при потеплении климата на +3 градуса.

Задание 5.4. Воспроизведите в файле «Функции.xmcd» функцию выявления максимальной осадки оттаивающего грунта в течение года:

Поиск максимальной в течение года осадки оттаивающего грунта

$\text{SearchMaxS}(\text{typ}, \text{allT}, \text{cStart}, \text{cFin}, \delta x) := \begin{cases} \text{maxInfo}_{1,2} \leftarrow 0 \\ \text{for } \text{day} \in 100, 101 \dots \text{rows}(\text{allT}) \\ \quad \left| \begin{array}{l} \text{S} \leftarrow \text{CalcSed}(\text{typ}, \text{allT}_{\text{day}}, \text{cStart}, \text{cFin}, \delta x)_{2,2-100} \\ \text{maxInfo} \leftarrow \begin{pmatrix} \text{"Smax, cm"} & \text{S} \\ \text{"maxDay"} & \text{day} \end{pmatrix} \text{ if } \text{S} > \text{maxInfo}_{1,2} \end{array} \right. \\ \text{maxInfo} \end{cases}$

Проверьте работоспособность функции, определив в документе «**5-1.Проектирование автодорожного профиля.xmcd**» максимальную годовую осадку песчаного и глинистого грунта Якутска в условиях базового климата и при потеплении на +3 градуса, как показано на рисунке:

Максимальная годовая осадка грунта:

- в условиях базового климата Якутска

$$\text{SearchMaxS}(\text{"sand"}, \text{sandDT0}, 2, 2, 0.1) = \begin{pmatrix} \text{"Smax, см"} & 13 \\ \text{"maxDay"} & 277 \end{pmatrix} \quad - \text{песок}$$

$$\text{SearchMaxS}(\text{"clay"}, \text{clayDT0}, 2, 2, 0.1) = \begin{pmatrix} \text{"Smax, см"} & 15.831 \\ \text{"maxDay"} & 276 \end{pmatrix} \quad - \text{глина}$$

- при потеплении на +3 градуса

$$\text{SearchMaxS}(\text{"sand"}, \text{sandDT3}, 2, 2, 0.1) = \begin{pmatrix} \text{"Smax, см"} & 15 \\ \text{"maxDay"} & 288 \end{pmatrix} \quad - \text{песок}$$

$$\text{SearchMaxS}(\text{"clay"}, \text{clayDT3}, 2, 2, 0.1) = \begin{pmatrix} \text{"Smax, см"} & 18.362 \\ \text{"maxDay"} & 288 \end{pmatrix} \quad - \text{глина}$$

Воспроизведите в файле «**Функции.xmcd**» функцию определения климатического риска при осадке оттаивающего грунта:

Определение климатического риска при осадке оттаивающего грунта

$$\text{CalcRiskS}(\text{typ}, \text{GT1}, \text{GT2}, \text{cStart}, \text{cFin}, \delta x) := \begin{cases} \text{maxS1} \leftarrow \text{SearchMaxS}(\text{typ}, \text{GT1}, \text{cStart}, \text{cFin}, \delta x)_{1,2} \\ \text{maxS2} \leftarrow \text{SearchMaxS}(\text{typ}, \text{GT2}, \text{cStart}, \text{cFin}, \delta x)_{1,2} \\ \text{Risk} \leftarrow \min\left(1, \frac{\text{maxS2} - \text{maxS1}}{10}\right) \\ \text{max}(1000 - \text{Risk}, 0) \end{cases}$$

Проверьте работоспособность функции, определив в документе «**5-1.Проектирование автодорожного профиля.xmcd**» климатические риски для песчаного и глинистого грунта Якутска при потеплении климата на +3 градуса, как показано на рисунке:

Климатические риски (от 0 до 1000) для плоской площадки в Якутске при потеплении на +3 градуса

$$\text{CalcRiskS}(\text{"sand"}, \text{sandDT0}, \text{sandDT3}, 2, 2, 0.1) = 200 \quad - \text{песок}$$

$$\text{CalcRiskS}(\text{"clay"}, \text{clayDT0}, \text{clayDT3}, 2, 2, 0.1) = 253 \quad - \text{глина}$$

Задание 5.5. Воспроизведите в документе «**5-1.Проектирование автодорожного профиля.xmcd**» вычисления климатических рисков для песчаного грунтового массива в форме автодорожного профиля (вследствие достаточно большого размера массива **profilG** вычисления температурной динамики могут потребовать значительного времени – до нескольких минут на каждый расчет).

Затем аналогичным образом организуйте вычисления для оценки климатического риска в глинистом грунте.

Заготовки для матрицы грунтового массива в форме автодорожного профиля

[illegible]

Формируем матрицу грунтового массива

$$\text{profilG} := \text{augment}(\text{topG}, \text{midG}, \text{midG}, \text{midG}, \text{midG}, \text{midG}, \text{botG})^T$$

Левый верхний угол матрицы грунтового массива в форме автодорожного профиля

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	"b"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"
2	"b"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	-5.5	-5.5	-5.5
3	"b"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	-5.5	-5.5	-5.5
profilG = 4	"b"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5
5	"b"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5
6	"b"	"a"	"a"	"a"	"a"	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5
7	"b"	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5
8	"b"	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5	...

Описываем функции для извлечения климатических параметров из массивов климатических данных

$$\begin{aligned}
 fYKT0(n) &:= \begin{cases} n \leftarrow \max(1, n) \\ \begin{pmatrix} \text{"T"} & \text{ClimatYearYKT}_{n,1} \\ \text{"v"} & \text{ClimatYearYKT}_{n,2} \\ \text{"Tconst"} & \text{ClimatYearYKT}_{n,3} \end{pmatrix} \end{cases} \quad \text{- базовый климат Якутска} \\
 fYKT3(n) &:= \begin{cases} n \leftarrow \max(1, n) \\ \begin{pmatrix} \text{"T"} & \text{ClimatYearYKT3}_{n,1} \\ \text{"v"} & \text{ClimatYearYKT3}_{n,2} \\ \text{"Tconst"} & \text{ClimatYearYKT3}_{n,3} \end{pmatrix} \end{cases} \quad \text{- потепление на +3 градуса}
 \end{aligned}$$

Формируем температурную динамику в грунтовом массиве, имеющем форму автодорожного профиля (песчаный грунт)

- базовый климат

sandDT0 := ModelFreeze(profilG, sandP, fYKT0, 365, 86400, 900, 86400, 0.1)

- максимальная годовая осадка

$$\text{SearchMaxS}(\text{"sand"}, \text{sandDT0}, 10, 29, 0.1) = \begin{pmatrix} \text{"Smax, см"} & 17 \\ \text{"maxDay"} & 277 \end{pmatrix}$$

- потепление на +3 градуса

sandDT3 := ModelFreeze(profilG, sandP, fYKT3, 365, 86400, 900, 86400, 0.1)

- максимальная годовая осадка

$$\text{SearchMaxS}(\text{"sand"}, \text{sandDT3}, 10, 29, 0.1) = \begin{pmatrix} \text{"Smax, см"} & 19 \\ \text{"maxDay"} & 262 \end{pmatrix}$$

Климатический риск для автодорожного профиля при потеплении на +3 градуса (песчаный грунт)

CalcRiskS("sand", sandDT0, sandDT3, 2, 2, 0.1) = 200

Задание 5.6. Воспроизведите в файле «Функции.xmcd» функцию построения грунтового массива со сложной поверхностью:

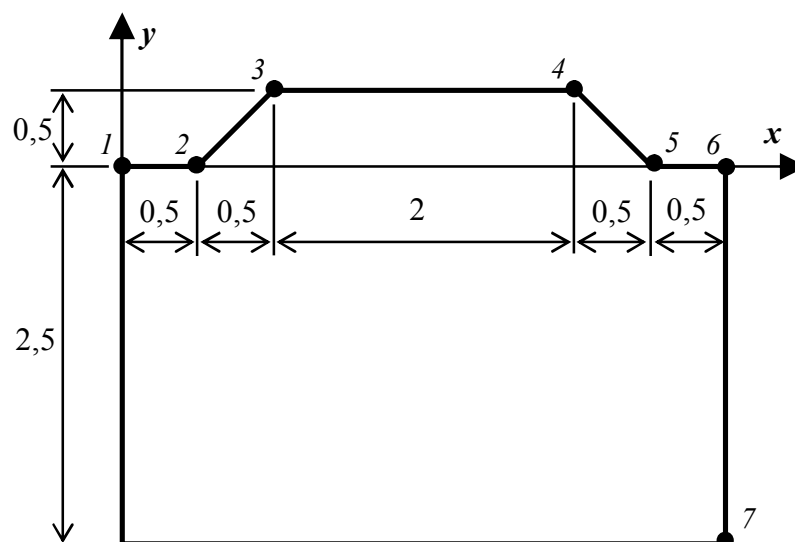
Функция построения грунтового массива со сложной поверхностью

```

BuildGeometry(Z, δx, T0) :=
  topYcent ← max(Z(2)) + 0.5 · δx
  maxR ← round( $\frac{\max(Z^{(2)}) - \min(Z^{(2)})}{\delta x}$ ) + 1
  Z ← ZT
  cFin ← 0
  for i ∈ 2..cols(Z) - 1
    startZ ← Z(i-1)
    finZ ← Z(i)
    cStart ← cFin + 1
    cFin ← cStart + round( $\frac{\text{fin}Z_1 - \text{start}Z_1}{\delta x}$ ) - 1
    for nC ∈ cStart..cFin
      boundX ← (nC - 0.5) · δx
      boundY ← startZ2 + (finZ2 - startZ2) ·  $\frac{\text{bound}X - \text{start}Z_1}{\text{fin}Z_1 - \text{start}Z_1}$ 
      for nR ∈ 1..maxR
        cellYcent ← topYcent - (nR - 1) · δx
        GnR, nC ←  $\begin{cases} \text{"a"} & \text{if cellYcent} > (\text{boundY} + 0.001 \cdot \delta x) \\ T0 & \text{otherwise} \end{cases}$ 
      1
    1
  for nC ∈ 1..cols(G)
    GmaxR, nC ← "c"
  for nR ∈ 1..maxR
    BnR ← "b"
  G ← augment(B, G, B)
  G

```

Создайте документ MathCad «**5-2.Проектирование автодорожного профиля.xmcd**» и подключите к нему файл «**Функции.xmcd**». Проверьте работоспособность ранее созданной функции, сформировав модель грунтового массива следующей формы (все размеры указаны в метрах):



Необходимая последовательность действий показана на рисунке (координаты точек 1–7, показанных на предыдущем рисунке, отражены в матрице **Z**).

Построение грунтового массива в форме автодорожного профиля высотой 0,5 м

$$Z := \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0.5 & 0 \\ 1 & 0.5 \\ 3 & 0.5 \\ 3.5 & 0 \\ 4 & 0 \\ 4 & -2.5 \end{pmatrix} \quad \text{- описание верхней поверхности}$$

G := BuildGeometry(Z, 0.1, -5.5) - построение модели грунтового массива

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	"b"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"
2	"b"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	-5.5	-5.5	-5.5
3	"b"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	-5.5	-5.5	-5.5
4	"b"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	-5.5	-5.5	-5.5
5	"b"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	-5.5	-5.5	-5.5
6	"b"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	"a"	-5.5	-5.5	-5.5
7	"b"	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5
8	"b"	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5
9	"b"	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5	...

Задание 5.7. Для грунтового массива в виде автодорожного профиля, сформированного в задании 5.6, необходимо с помощью цветовой гаммы отразить распределение температуры в грунте по состоянию на произвольный месяц года. Требуется показать 2 варианта распределения температуры – для базового климата Якутска, и для потепления на +3 градуса, грунт в обоих вариантах считается песчаным.

Необходимая последовательность действий показана на рисунке. Обратите внимание, что с помощью переменной **nMonth** можно задавать месяц года, для которого отображается распределение температуры в грунте. Последовательно изменяйте значение

переменной **nMonth** от 1 до 12, и убедитесь в том, что температурная картина грунта при этом корректно изменяется (зимой температура падает, летом растет).

Моделируем базовый климат Якутска на протяжении 1 года

$\text{ClimatYearYKT} := \text{MakeP}\Delta t(\text{DClimatYearYKT}, -5.5, 900)$

Моделируем измененный климат Якутска (потепление на +3 градуса)

$\text{ClimatYearYKT3} := \text{ClimatYearYKT}$

$n\text{Period} := 1..rows(\text{ClimatYearYKT})$

$\text{ClimatYearYKT3}_{n\text{Period},1} := \text{ClimatYearYKT3}_{n\text{Period},1} + 3$

Описываем функции для извлечения климатических параметров из массивов климатических данных

$\text{fYKT0}(n) := \begin{cases} n \leftarrow \max(1, n) \\ \begin{pmatrix} \text{"T"} & \text{ClimatYearYKT}_{n,1} \\ \text{"v"} & \text{ClimatYearYKT}_{n,2} \\ \text{"Tconst"} & \text{ClimatYearYKT}_{n,3} \end{pmatrix} \end{cases}$ - базовый климат Якутска

$\text{fYKT3}(n) := \begin{cases} n \leftarrow \max(1, n) \\ \begin{pmatrix} \text{"T"} & \text{ClimatYearYKT3}_{n,1} \\ \text{"v"} & \text{ClimatYearYKT3}_{n,2} \\ \text{"Tconst"} & \text{ClimatYearYKT3}_{n,3} \end{pmatrix} \end{cases}$ - потепление на +3 градуса

Формируем температурную динамику в грунтовом массиве, имеющем форму автодорожного профиля (песчаный грунт)

- базовый климат

$\text{sandDT0} := \text{ModelFreeze}(\text{G.sandP}, \text{fYKT0}, 365-86400, 900, 86400, 0.1)$

- потепление на +3 градуса

$\text{sandDT3} := \text{ModelFreeze}(\text{G.sandP}, \text{fYKT3}, 365-86400, 900, 86400, 0.1)$

Номера дней года, соответствующих окончанию каждого месяца

$M := (32 \ 60 \ 91 \ 121 \ 152 \ 182 \ 213 \ 244 \ 274 \ 305 \ 335 \ 366)^T$

Указываем номер месяца для визуализации температурного режима грунта

$n\text{Month} := 6$

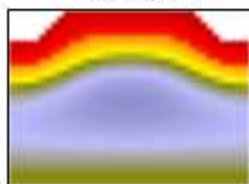
$\text{day} := M_{n\text{Month}}$ - соответствующий день года

Отрисовываем температуру в грунте по состоянию на day

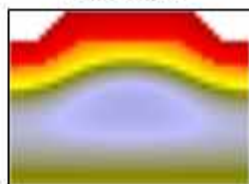
$T0 := \text{DrawRoadT}(\text{sandDT0}_{\text{day}}, \text{ColorMapFull}, 3, 3)$ - базовый климат Якутска

$T3 := \text{DrawRoadT}(\text{sandDT3}_{\text{day}}, \text{ColorMapFull}, 3, 3)$ - потепление на +3 градуса

Температура песчаного грунта для Якутска в конце указанного месяца
+0 градусов +3 градуса



T0



T3

Цветовая шкала от -30 до +20 градусов

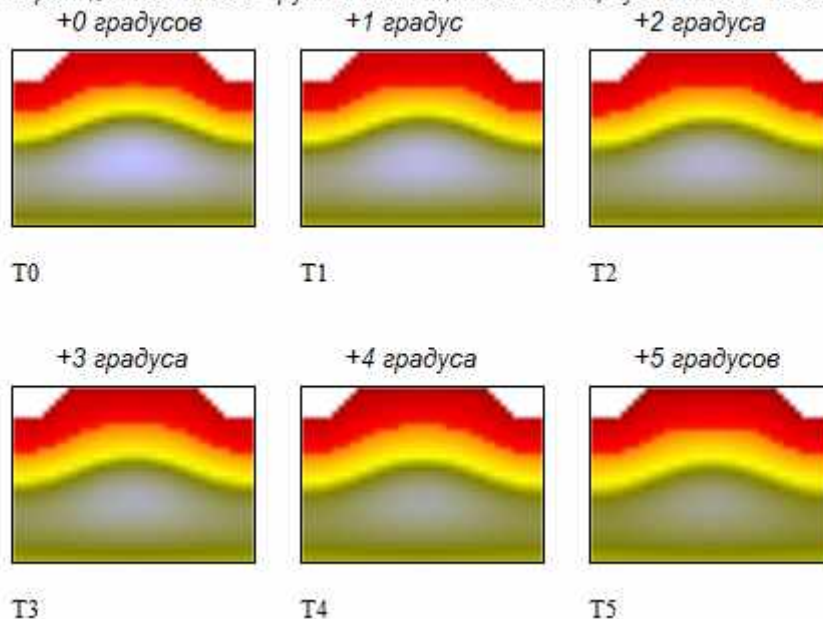
$S := \text{DrawScale}(-30, 20, 200, 30, \text{ColorMapFull})$



S

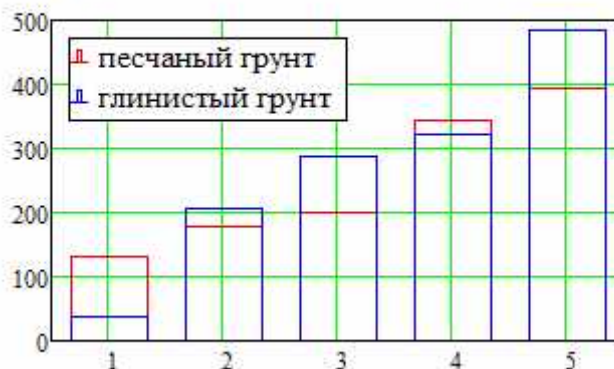
Задание 5.8. Дополните сравнение температур грунта из задания 5.7 аналогичными изображениями, соответствующими потеплению на +1, +2, +4 и +5 градусов. Моделирование измененного климата по каждому варианту, описание функций для извлечения климатических параметров и формирование температурной динамики необходимо выполнить самостоятельно. Итоговый результат для последнего дня июля показан на рисунке.

Температура песчаного грунта для Якутска в конце указанного месяца



Задание 5.9. Постройте 2 графика (для песчаных и для глинистых грунтов Якутска), отражающих возрастание климатического риска для автодорожного профиля по мере увеличения интенсивности потепления от +1 до +5 градусов. Результат должен совпадать с рисунком:

Возрастание климатического риска по мере увеличения интенсивности потепления



Лабораторная работа 6. Проектирование средств защиты инфраструктурных объектов ТДК от климатических изменений

Задание 6.1. Воспроизведите в файле «Функции.xmcd»:

- функцию выявления расчетных элементов грунта, через которые проходит сезонное охлаждающее устройство (СОУ):

Функция выявления расчетных элементов грунта, через которые проходит СОУ

```

CalcLscd(SCD, G, δx) :=
  for r ∈ 1..rows(G)
    if ¬IsString(Gr,2)
      addRows ← r - 1
      break
  SCD6 ← -SCD6 + addRows·δx
  SCD8 ← -SCD8 + addRows·δx
  SCD10 ← -SCD10 + addRows·δx
  GLrows(G),cols(G) ← 0
  nParts ← 1000
  sumL ← 0
  nSCD ← 1 if (SCD7 = SCD9) ∧ (SCD8 = SCD10)
          2 otherwise
  for currSCD ∈ 1..nSCD
    startZ ← 3 + 2·currSCD
    X1 ← SCDstartZ
    Y1 ← SCDstartZ+1
    X2 ← SCDstartZ+2
    Y2 ← SCDstartZ+3
    dX ← X2 - X1
    dY ← Y2 - Y1
    L ← √(dX2 + dY2)
    sumL ← sumL + L
    δX ←  $\frac{dX}{nParts}$ 
    δY ←  $\frac{dY}{nParts}$ 
    δL ←  $\frac{L}{nParts}$ 
  
```

```

for n ∈ 1..nParts
    |
    |   scdX ← X1 + (n - 0.5)·δX
    |   scdY ← Y1 + (n - 0.5)·δY
    |   cG ← floor( $\frac{scdX}{\delta x}$ ) + 2
    |   rG ← floor( $\frac{scdY}{\delta y}$ ) + 1
    |   if (rG ≥ 1) ∧ ¬IsString(GrG,cG)
    |       |
    |       |   GLrG,cG ← GLrG,cG + δL
    |       |   1
    |   1
1

groundL ←  $\sum_{i=1}^{cols(GL)} \sum GL^{(i)}$ 
airL ← sumL - groundL
n ← 0
for i ∈ 1..rows(GL)
    for j ∈ 1..cols(GL)
        if GLi,j > 0
            |
            |   n ← n + 1
            |   GS(n) ← (i j GLi,j)T
            |
SCD ← stack(submatrix(SCD, 1, 4, 1, 1), submatrix(SCD, 11, 11, 1, 1))
SCD ← stack $\left[ SCD, \begin{pmatrix} airL \\ groundL \end{pmatrix} \right]$ 
tmp ← ("δ, мм" "d_max, мм" "d_min, мм" "n, штык" "Distance, м" "airL, м" "groundL, м")
SCD ← augment(tmpT, SCD)
( $GS^T$  SCD)T

```

- таблицы для определения теплопроводности воздуха и стали:

Расчетные значения теплопроводности воздуха и стали в зависимости от температуры

$$\lambda_{air} := \begin{pmatrix} -40 & 0.0212 \\ -30 & 0.022 \\ -20 & 0.0228 \\ -10 & 0.0236 \\ 0 & 0.0244 \end{pmatrix} \quad \lambda_{steel} := \begin{pmatrix} -40 & 48 \\ 0 & 54 \end{pmatrix}$$

- функцию определения мощности COY:

Функция определения мощности COY, Вт

```

CalcQscd(SCD, airV, airT, ΔT) :=
return 0 if (airT > -5) ∨ (ΔT ≤ 0)
δ ← 0.001 · SCD1,2
d_min ← 0.001 · SCD3,2
d_max ← 0.001 · SCD2,2
α ← 18 · airV0.578
λa ← linterp(λair(1), λair(2), airT)
λs ← linterp(λsteel(1), λsteel(2), airT)
m ←  $\sqrt{\frac{2 \cdot \alpha}{\lambda_s \cdot \delta}}$ 
β1 ← 0.5 · m · d_min
β2 ← 0.5 · m · (d_max + δ)
φ ←  $\frac{I_1(\beta_2) \cdot K_1(\beta_1) - I_1(\beta_1) \cdot K_1(\beta_2)}{I_0(\beta_1) \cdot K_1(\beta_2) + I_1(\beta_2) \cdot K_0(\beta_1)}$ 
Q1 ← π · d_max · δ · m · λs · ΔT · φ
Q0 ← (SCD6,2 - δ · SCD4,2) · π · d_min · α · ΔT
Q ←  $\frac{1}{2 \cdot \alpha} \cdot (Q1 \cdot SCD_{4,2} + Q0)$ 

```

- функцию распределения мощности COY по отдельным ячейкам грунта:

Функция распределения мощности СОУ по отдельным ячейкам грунта

```

WorkSCD(GS, SCD, GT, airV, airT) :=
  addQrows(GS) ← 0
  GSrows(GS), 4 ← 0
  if airT < -5
    S ← 0
    for k ∈ 1..rows(GS)
      Δt ← max(GTGSk,1, GSk,2 - airT, 0)
      ΔS ← Δt · GSk,3
      GSk,4 ← ΔS
      S ← S + ΔS
    ΔT ←  $\frac{S}{SCD_{7,2}}$ 
    Qmax ←  $\frac{CalcQscd(SCD, airV, airT, \Delta T)}{SCD_{5,2}}$ 
    if Qmax > 0
      kQ ←  $\frac{Qmax}{S}$ 
      for k ∈ 1..rows(GS)
        addQk ← GSk,4 · kQ
  1
  GS ← submatrix(GS, 1, rows(GS), 1, 3)
  GS ← augment(GS, addQ)
  GS

```

- функцию моделирования теплопереноса в грунте с учетом наличия СОУ (для этого достаточно скопировать функцию **ModelFreeze**, которая уже содержится в документе «**Функции.xmcd**», изменить имя этой копии на **ModelFreezeSCD** и добавить последним аргументом **SCD**, после чего добавить в копию две вставки):

```

ModelFreezeSCD(G, P, f, tMax, Δt, ΔtSave, Δx, SCD) := 1
λ ← P2,2
C ← P3,2 · 106
Tbf ← P4,2
qW ← 3.35 · 105 · P1,2 · Δx2
for i ∈ 1..rows(G)
  for j ∈ 1..cols(G)
    QWi,j ←  $\begin{cases} G_{i,j} & \text{if IsString}(G_{i,j}) \\ 0 & \text{if } G_{i,j} < Tbf \\ qW & \text{otherwise} \end{cases}$ 
  1
nΔt ← round( $\frac{tMax}{\Delta t}$ )
iSave ← round( $\frac{\Delta tSave}{\Delta t}$ )
A ←  $\begin{pmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \end{pmatrix}^T$ 
nSave ← 1
saveG1 ← G
"===== Начало вставки 1 ====="
for i ∈ 1..cols(SCD) - 1
  manySCDi ← CalcLscd(SCD(i+1), G, Δx)
"===== Конец вставки 1 ====="
for nt ∈ 1..nΔt
  1
  for i ∈ 1..rows(G)
    for j ∈ 1..cols(G)
      ΔQi,j ← 0
  1
  for i ∈ 2..rows(G) - 1
    for j ∈ 2..cols(G) - 1
      if -IsString(Gi,j)
        for n ∈ 1..4
          i1 ← i + An,1
          j1 ← j + An,2

```

```

 $\delta q \leftarrow 0$ 
if IsString( $G_{i1,j1}$ )
    if  $G_{i1,j1} = "a"$ 
         $aP \leftarrow f(nt)$ 
         $\delta q \leftarrow 18 \cdot (aP_{2,2})^{0.578} \cdot (aP_{1,2} - G_{i,j}) \cdot \delta x^2 \cdot \Delta t$ 
    if  $G_{i1,j1} = "b"$ 
    if  $G_{i1,j1} = "c"$ 
         $aP \leftarrow f(nt)$ 
         $\delta q \leftarrow \lambda \cdot (aP_{3,2} - G_{i,j}) \cdot \delta x \cdot \Delta t$ 
    otherwise
         $\delta q \leftarrow \lambda \cdot (G_{i1,j1} - G_{i,j}) \cdot \delta x \cdot \Delta t$ 
    1
 $\Delta Q_{i,j} \leftarrow \Delta Q_{i,j} + \delta q$ 
1
1
1

```

```

"===== Начало вставки 2 ====="
 $aP \leftarrow f(nt)$ 
for  $i \in 1..rows(manySCD)$ 
     $GS \leftarrow (manySCD_i)_1$ 
     $SCD \leftarrow (manySCD_i)_2$ 
     $GS \leftarrow WorkSCD(GS, SCD, G, aP_{2,2}, aP_{1,2})$ 
    for  $n \in 1..rows(GS)$ 
         $nR \leftarrow GS_{n,1}$ 
         $nC \leftarrow GS_{n,2}$ 
         $\delta q \leftarrow GS_{n,4} \cdot \Delta t$ 
         $\Delta Q_{nR,nC} \leftarrow \Delta Q_{nR,nC} - \delta q$ 
    1
"===== Конец вставки 2 ====="

```

```

for  $i \in 2..rows(G) - 1$ 
    for  $j \in 2..cols(G) - 1$ 
        if  $\neg IsString(G_{i,j})$ 
             $\delta q \leftarrow 0$ 
            if  $\Delta Q_{i,j} > 0$ 
                if  $G_{i,j} \leq Tbf$ 
                     $Qbf \leftarrow (Tbf - G_{i,j}) \cdot C \cdot \delta x^2$ 
                     $\delta q \leftarrow \Delta Q_{i,j}$  if  $Qbf \geq \Delta Q_{i,j}$ 

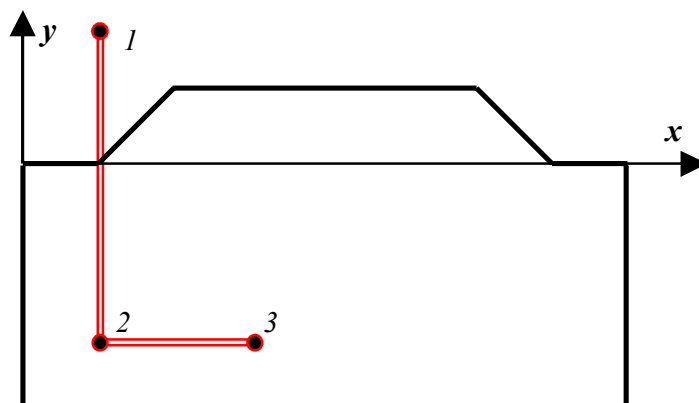
```

```

        otherwise
            if  $\Delta Q_{i,j} \leq (qW - QW_{i,j})$ 
                 $QW_{i,j} \leftarrow QW_{i,j} + \Delta Q_{i,j}$ 
                 $\delta q \leftarrow 0$ 
            otherwise
                 $\delta q \leftarrow \Delta Q_{i,j} - (qW - QW_{i,j})$ 
                 $QW_{i,j} \leftarrow qW$ 
             $\delta q \leftarrow \Delta Q_{i,j}$  otherwise
        1
    if  $\Delta Q_{i,j} < 0$ 
        if  $G_{i,j} \geq Tbf$ 
             $Qbf \leftarrow (G_{i,j} - Tbf) \cdot C \cdot \delta x^2$ 
             $\delta q \leftarrow \Delta Q_{i,j}$  if  $Qbf \geq |\Delta Q_{i,j}|$ 
        otherwise
            if  $|\Delta Q_{i,j}| \leq QW_{i,j}$ 
                 $QW_{i,j} \leftarrow QW_{i,j} - |\Delta Q_{i,j}|$ 
                 $\delta q \leftarrow 0$ 
            otherwise
                 $\delta q \leftarrow -||\Delta Q_{i,j}| - QW_{i,j}|$ 
                 $QW_{i,j} \leftarrow 0$ 
        1
     $\delta q \leftarrow \Delta Q_{i,j}$  otherwise
    1
     $G_{i,j} \leftarrow G_{i,j} + \frac{\delta q}{C \cdot \delta x^2}$ 
1
if mod(nt, iSave) = 0
    nSave  $\leftarrow$  nSave + 1
    G1  $\leftarrow$  G
    for j  $\in$  2..cols(G1) - 1
         $G1_{rows(G1),j} \leftarrow f(nt)_{3,2}$ 
    saveGnSave  $\leftarrow$  G1
for j  $\in$  2..cols(saveG1) - 1
    (saveG1)rows(saveG1),j  $\leftarrow$  f(0)3,2
saveG

```

Задание 6.2. Создайте документ MathCad «6-1.Проектирование СОУ.xmcd» и подключите к нему файл «Функции.xmcd». Проверьте работоспособность ранее созданных функций, выполнив моделирование теплопереноса в грунтовом массиве 1х1 м при отсутствии и при наличии СОУ; необходимая последовательность вычислений показана далее. Конфигурация СОУ задается с помощью трех точек, описывающих 2 сегмента СОУ; если координаты 2 и 3 точек совпадают, это означает наличие единственного сегмента (как в нижеприведенной матрице **SCD**):



Модель грунтового массива 1x1 м с плоской поверхностью

$$G = \begin{pmatrix} "a" & "a" & "a" & "a" & "a" & "a" & "a" & "a" & "a" & "a" & "a" & "a" \\ "b" & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & "b" \\ "b" & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & "b" \\ "b" & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & "b" \\ "b" & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & "b" \\ "b" & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & "b" \\ "b" & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & "b" \\ "b" & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & "b" \\ "b" & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & "b" \\ "b" & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & -5.5 & "b" \\ "b" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "b" \end{pmatrix}$$

Моделируем базовый климат Якутска на протяжении 1 года

$\text{ClimatYearYKT} := \text{MakeP}\Delta t(\text{DClimatYearYKT}, -5.5, 900)$

Описываем функцию для извлечения климатических параметров из массивов климатических данных

$$fYKT0(n) = \begin{cases} n \leftarrow \max(1, n) \\ \begin{pmatrix} "T" & \text{ClimatYearYKT}_{n,1} \\ "v" & \text{ClimatYearYKT}_{n,2} \\ "Tconst" & \text{ClimatYearYKT}_{n,3} \end{pmatrix} \end{cases}$$

Задаем параметры СОУ

$$\text{SCD} = \begin{pmatrix} "d, \text{ мм}" & 2 \\ "d_{\max}, \text{ мм}" & 100 \\ "d_{\min}, \text{ мм}" & 60 \\ "n, \text{ штук}" & 30 \\ "x1, \text{ м}" & 0.45 \\ "y1, \text{ м}" & 1 \\ "x2, \text{ м}" & 0.45 \\ "y2, \text{ м}" & -0.5 \\ "x3, \text{ м}" & 0.45 \\ "y3, \text{ м}" & -0.5 \\ "Distance, \text{ м}" & 1 \end{pmatrix}$$

Формируем температурную динамику в грунтовом массиве, имеющем форму автодорожного профиля (песчаный грунт)

- отсутствие СОУ

$\text{sandDT0} := \text{ModelFreeze}(G, \text{sandP}, fYKT0, 365 \cdot 86400, 900, 86400, 0.1)$

- наличие СОУ

$\text{sandDT0scd} := \text{ModelFreezeSCD}(G, \text{sandP}, fYKT0, 365 \cdot 86400, 900, 86400, 0.1, \text{SCD})$

Указываем день года для визуализации температурного режима грунта

$\text{day} := 310$

Отрисовываем температуру в грунте по состоянию на day

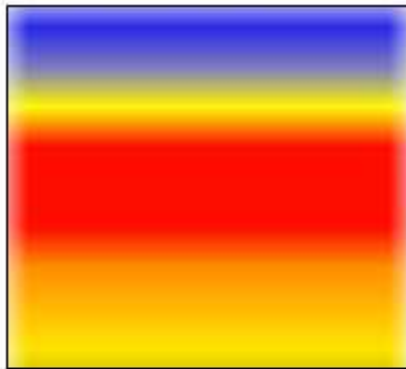
- отсутствие СОУ

$T0 := \text{DrawRoadT}(\text{sandDT0}_{\text{day}}, \text{ColorMapFull}, 20, 20)$

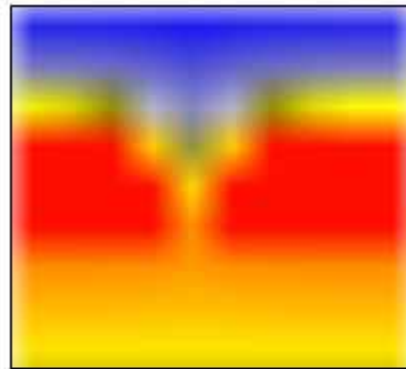
- наличие СОУ

$T0scd := \text{DrawRoadT}(\text{sandDT0scd}_{\text{day}}, \text{ColorMapFull}, 20, 20)$

Температура песчаного грунта для Якутска по состоянию на указанный день года
отсутствие СОУ наличие СОУ



T0



T0scd

Цветовая шкала от -30 до +20 градусов

$S := \text{DrawScale}(-30, 20, 400, 30, \text{ColorMapFull})$



S

Задавая различные значения переменной **day**, исследуйте влияние СОУ на температурное состояние грунтового массива в течение года.

Задание 6.3. Создайте документ MathCad «6-2.Проектирование СОУ.xmcd» и подключите к нему файл «Функции.xmcd».

Оцените эффект от использования СОУ в песчаном грунте Якутска при потеплении климата на +3 градуса (эффект оценивается по величине снижения риска для свайного фундамента), как показано на рисунке:

Построение грунтового массива с плоской поверхностью 2x5 м

$$Z := \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 2 & 0 \\ 2 & -5 \end{pmatrix} \quad - \text{ описание верхней поверхности}$$

$G := \text{BuildGeometry}(Z, 0.1, -5.5)$ - построение модели грунтового массива

Моделируем базовый климат Якутска на протяжении 1 года

$$\text{ClimatYearYKT} := \text{MakeP}\Delta t(\text{DClimatYKT}, -5.5, 900)$$

Моделируем измененный климат Якутска (потепление на +3 градуса)

$$\text{ClimatYearYKT3} := \text{ClimatYearYKT}$$

$$nPeriod := 1.. \text{rows}(\text{ClimatYearYKT})$$

$$\text{ClimatYearYKT3}_{nPeriod, 1} := \text{ClimatYearYKT3}_{nPeriod, 1} + 3$$

Описываем функции для извлечения климатических параметров из массивов климатических данных

$$fYKT0(n) := \begin{cases} n \leftarrow \max(1, n) \\ \begin{pmatrix} \text{"T"} & \text{ClimatYearYKT}_{n, 1} \\ \text{"v"} & \text{ClimatYearYKT}_{n, 2} \\ \text{"Tconst"} & \text{ClimatYearYKT}_{n, 3} \end{pmatrix} \end{cases} \quad - \text{ базовый климат Якутска}$$

$$fYKT3(n) := \begin{cases} n \leftarrow \max(1, n) \\ \begin{pmatrix} \text{"T"} & \text{ClimatYearYKT3}_{n, 1} \\ \text{"v"} & \text{ClimatYearYKT3}_{n, 2} \\ \text{"Tconst"} & \text{ClimatYearYKT3}_{n, 3} \end{pmatrix} \end{cases} \quad - \text{ потепление на +3 градуса}$$

СОУ, размещенный слева от сваи на расстоянии 40 см

(свая шириной 30 см находится в середине грунтового массива)

$$\text{SCD} := \begin{pmatrix} \text{"}\delta, \text{ мм"} & 2 \\ \text{"d_max, мм"} & 100 \\ \text{"d_min, мм"} & 60 \\ \text{"n, штук"} & 10 \\ \text{"x1, м"} & 0.45 \\ \text{"y1, м"} & 1 \\ \text{"x2, м"} & 0.45 \\ \text{"y2, м"} & -1 \\ \text{"x3, м"} & 0.45 \\ \text{"y3, м"} & -1 \\ \text{"Distance, м"} & 1.5 \end{pmatrix}$$

Формируем температурную динамику в грунтовом массиве
(песчаный грунт)

- базовый климат

$\text{sandDT0} := \text{ModelFreeze}(G, \text{sandP}, \text{fYKT0}, 365 \cdot 86400, 900, 86400, 0.1)$

- потепление на +3 градуса (без СОУ)

$\text{sandDT3} := \text{ModelFreeze}(G, \text{sandP}, \text{fYKT3}, 365 \cdot 86400, 900, 86400, 0.1)$

- потепление на +3 градуса (при наличии СОУ)

$\text{sandDT3scd} := \text{ModelFreezeSCD}(G, \text{sandP}, \text{fYKT3}, 365 \cdot 86400, 900, 86400, 0.1, \text{SCD})$

Выделяем вертикальный профиль в середине грунтового массива
(в месте расположения сваи)

$n\text{Day} := 1, 2 \dots \text{rows}(\text{sandDT0})$

$\text{SandDT0}_{n\text{Day}} := \text{augment}\left[\left(\text{sandDT0}_{n\text{Day}}\right)^{\langle 1 \rangle}, \left(\text{sandDT0}_{n\text{Day}}\right)^{\langle 11 \rangle}, \left(\text{sandDT0}_{n\text{Day}}\right)^{\langle 22 \rangle}\right]$

$\text{SandDT3}_{n\text{Day}} := \text{augment}\left[\left(\text{sandDT3}_{n\text{Day}}\right)^{\langle 1 \rangle}, \left(\text{sandDT3}_{n\text{Day}}\right)^{\langle 11 \rangle}, \left(\text{sandDT3}_{n\text{Day}}\right)^{\langle 22 \rangle}\right]$

$\text{SandDT3scd}_{n\text{Day}} := \text{augment}\left[\left(\text{sandDT3scd}_{n\text{Day}}\right)^{\langle 1 \rangle}, \left(\text{sandDT3scd}_{n\text{Day}}\right)^{\langle 11 \rangle}, \left(\text{sandDT3scd}_{n\text{Day}}\right)^{\langle 22 \rangle}\right]$

Прогнозируемые климатические риски при потеплении на +3 градуса:

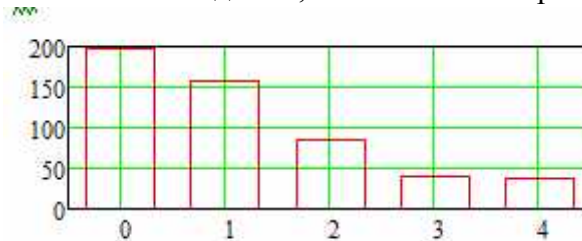
- при отсутствии СОУ

$\text{sandRisk} := \text{CalcRiskN}(0.3, 4, "sand", \text{SandDT0}, \text{SandDT3}) = 198$

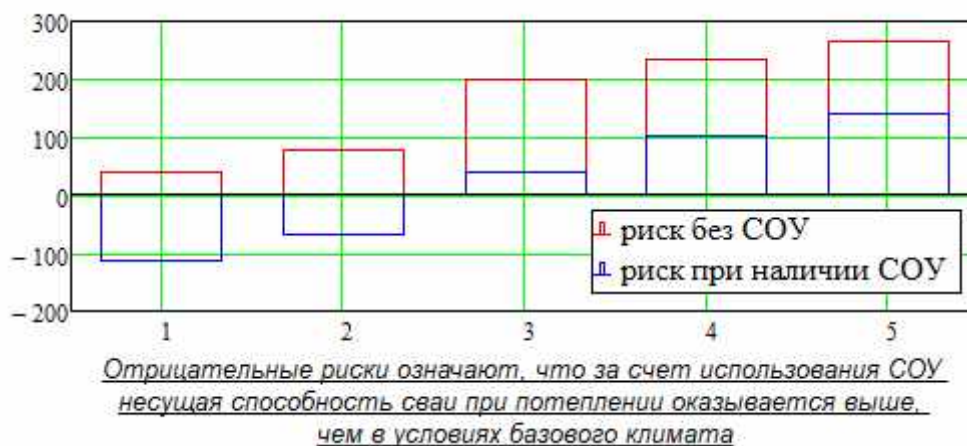
- при наличии СОУ

$\text{sandRiskSCD} := \text{CalcRiskN}(0.3, 4, "sand", \text{SandDT0}, \text{SandDT3scd}) = 157$

Задание 6.4. Определите величину климатического риска при различных глубинах СОУ (все остальные исходные данные как в задании 6.3). Постройте график, отражающий величину риска при глубине СОУ от 1 до 4 м, как показано на рисунке.



Задание 6.5. На одном шаблоне постройте 2 графика, отражающие изменение климатического риска для свайного фундамента в зависимости от интенсивности потепления (от +1 до +5 градусов) – без использования СОУ и при его наличии. Грунтовый массив, расположение в нем сваи и СОУ принимаются такими же, как в заданиях 6.3 и 6.4, глубина СОУ равна 3 м.



Задание 6.6. Создайте документ MathCad «6-3.Проектирование СОУ.xmcd» и подключите к нему файл «Функции.xmcd».

Воспроизведите последовательность вычислений для оценки климатических рисков в двух вариантах: при отсутствии СОУ и при их наличии, как показано на рисунке. Варьируя значение переменной **day**, проследите функционирование СОУ и их влияние на температурное состояние грунта в течение года.

Моделируем базовый климат Якутска на протяжении 1 года,
а также измененный климат при потеплении на +3 градуса

```
ClimatYearYKT := MakePΔt(DClimateYKT, -5.5, 900)
ClimatYearYKT3 := ClimatYearYKT
nPeriod := 1..rows(ClimatYearYKT)
ClimatYearYKT3_nPeriod,1 := ClimatYearYKT3_nPeriod,1 + 3
```

Описываем функции для извлечения климатических параметров
из массивов климатических данных

```
fYKT0(n) := ⎡ n ← max(1,n)
              ⎢
              ⎢ "T"    ClimatYearYKT_n,1
              ⎢ "v"    ClimatYearYKT_n,2
              ⎢ "Tconst" ClimatYearYKT_n,3
              ⎣

fYKT3(n) := ⎡ n ← max(1,n)
              ⎢
              ⎢ "T"    ClimatYearYKT3_n,1
              ⎢ "v"    ClimatYearYKT3_n,2
              ⎢ "Tconst" ClimatYearYKT3_n,3
              ⎣
```

Построение грунтового массива
с верхней поверхностью в форме автодорожного профиля

```
Z := ⎡ 0  0
      0.5 0
      1  0.5
      3  0.5
      3.5 0
      4  0
      4 -2.5
      ⎤
      G := BuildGeometry(Z, 0.1, -5.5)
```

Два СОУ, симметрично расположенных относительно профиля автодороги

```
SCD := ⎡ "δ, мм"      2  2
        "d_max, мм" 100 100
        "d_min, мм"  60  60
        "n, штук"   30  30
        "x1, м"     0.45 3.45
        "y1, м"      1  1
        "x2, м"     0.45 3.45
        "y2, м"     -1.2 -1.2
        "x3, м"      1.9  2.0
        "y3, м"     -1.2 -1.2
        "Distance, м" 1  1
        ⎤
```

Температурная динамика грунта:

- базовый климат

$\text{sandDT0} := \text{ModelFreeze}(G, \text{sandP}, \text{fYKT0}, 365 \cdot 86400, 900, 86400, 0.1)$

- потепление на +3 градуса (без СОУ)

$\text{sandDT3} := \text{ModelFreeze}(G, \text{sandP}, \text{fYKT3}, 365 \cdot 86400, 900, 86400, 0.1)$

- потепление на +3 градуса (при наличии СОУ)

$\text{sandDT3scd} := \text{ModelFreezeSCD}(G, \text{sandP}, \text{fYKT3}, 365 \cdot 86400, 900, 86400, 0.1, \text{SCD})$

Указываем день года для визуализации температурного состояния грунта

$\text{day} := 345$

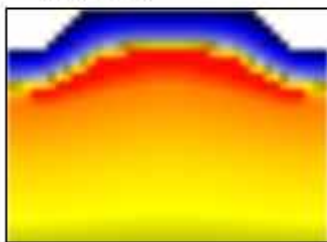
Отрисовываем температуру в грунте по состоянию на day
(потепление +3 градуса)

$T3 := \text{DrawRoadT}(\text{sandDT3}_{\text{day}}, \text{ColorMapFull}, 4, 4)$

$T3scd := \text{DrawRoadT}(\text{sandDT3scd}_{\text{day}}, \text{ColorMapFull}, 4, 4)$

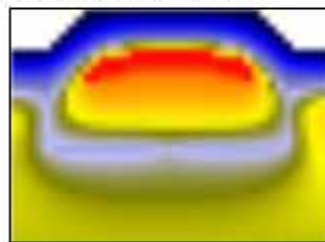
Температура песчаного грунта Якутска после потепления
на указанный день:

без СОУ



T3

с использованием СОУ



T3scd

Цветовая шкала от -30 до +20 градусов

$S := \text{DrawScale}(-30, 20, 400, 30, \text{ColorMapFull})$



S

Климатический риск при потеплении на +3 градуса:

$\text{CalcRiskS}(\text{"sand"}, \text{sandDT0}, \text{sandDT3}, 11, 32, 0.1) = 200$

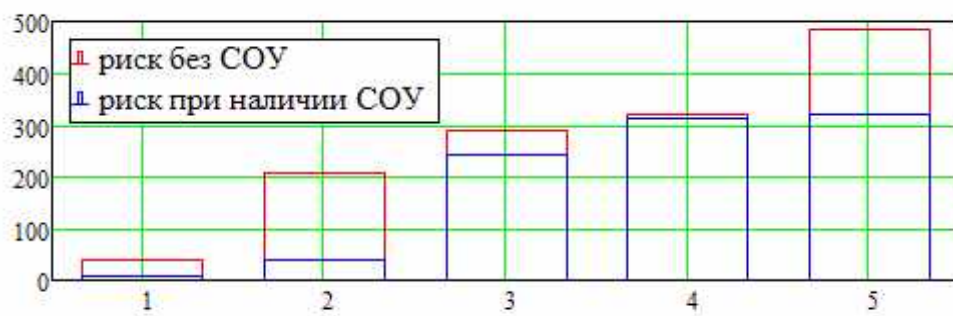
- без СОУ

$\text{CalcRiskS}(\text{"sand"}, \text{sandDT0}, \text{sandDT3scd}, 11, 32, 0.1) = 171$

- при наличии СОУ

Задание 6.7. Оцените изменение климатического риска для автодорожного профиля (при потеплении климата Якутска на +3 градуса) в глинистых грунтах. Сделайте вывод, в каком виде грунта СОУ более эффективны для снижения рисков в отношении автодорожного профиля.

Задание 6.8. Выявите зависимость климатических рисков в отношении автодорожного профиля на глинистых грунтах от величины потепления (от +1 до +5 градусов), а также эффективность использования СОУ для снижения этих рисков. Результаты представьте в виде графиков:



Задание 6.9. Аналогично заданию 6.8, оцените эффективность СОУ при снижении климатических рисков в климатических условиях Уренгоя (отдельно для песчаных и глинистых грунтов) и отразите результаты на графиках.

Список использованных источников

1. Якубович А.Н. Моделирование и оценка природных и техногенных рисков в автотранспортном комплексе : монография / А.Н. Якубович, Ю.В. Трофименко, И.А. Якубович ; МАДИ .— М. : МАДИ, 2018 .— 231 с. : ил., табл., граф .— Авторы-преподаватели МАДИ .— Библиогр.: с. 222-231. — ISBN 978-5-7962-0231-9.
2. Трофименко Ю. В., Якубович И.А. Инженерные сооружения и экологическая безопасность предприятий автосервиса : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки бакалавров "Эксплуатация наземного транспорта и транспортного оборудования" (профиль подготовки "Автомобильный сервис"). — М.: Академия, 2016. - 223, [1] с. : ил., табл., схемы. - (Высшее образование. Транспорт. Бакалавриат) ISBN 978-5-446-81718-4 :
3. Якубович А.Н. Информационные технологии на автотранспорте : учебное пособие / А.Н. Якубович, Н.Г. Куфтинова, О.Б. Рогова ; МАДИ .— М. : МАДИ, 2017 .— 251 с. : ил., табл., схемы .— Авторы-преподаватели МАДИ .— Библиогр.: с. 250-251. — ISBN 978-5-7962-0214-2 .
4. Далингер В.А. Информатика и математика. Решение уравнений и оптимизация в MATHCAD и MAPLE : учебник и практикум для прикладного бакалавриата / В.А. Далингер, С.Д. Симонженков .— 2-е изд., испр. и доп. — М. : Юрайт, 2018 .— [161] с. : ил., табл., граф. — (Бакалавр. Прикладной курс) .— biblio-online.ru .— Библиогр.: с. 145-[147]. — ISBN 978-5-534-00311-6.
5. Трофимов В.В. Алгоритмизация и программирование: учебник для академического бакалавриата / В.В. Трофимов, Т.А. Павловская ; под ред. В.В. Трофимова. — М. : Издательство Юрайт, 2017. — 137 с.
6. Бахвалов Н.С. Численные методы : учебник / Н.С. Бахвалов, Н.П. Жидков, Г.М. Кобельков. — 9-е изд. — Москва : Лаборатория знаний, 2020. — 636 с. — ISBN 978-5-00101-836-0.