



# Выпускная квалификационная работа на тему:

«Разработка и программная реализация  
метода для расчета площади покрытия  
Земли спутником дистанционного  
зондирования»

студента 872 группы А.Е. Ильина

научный руководитель: д.ф.-м.н. С.А. Мирер

научный консультант: к.ф.-м.н. С.С. Ткачѐв



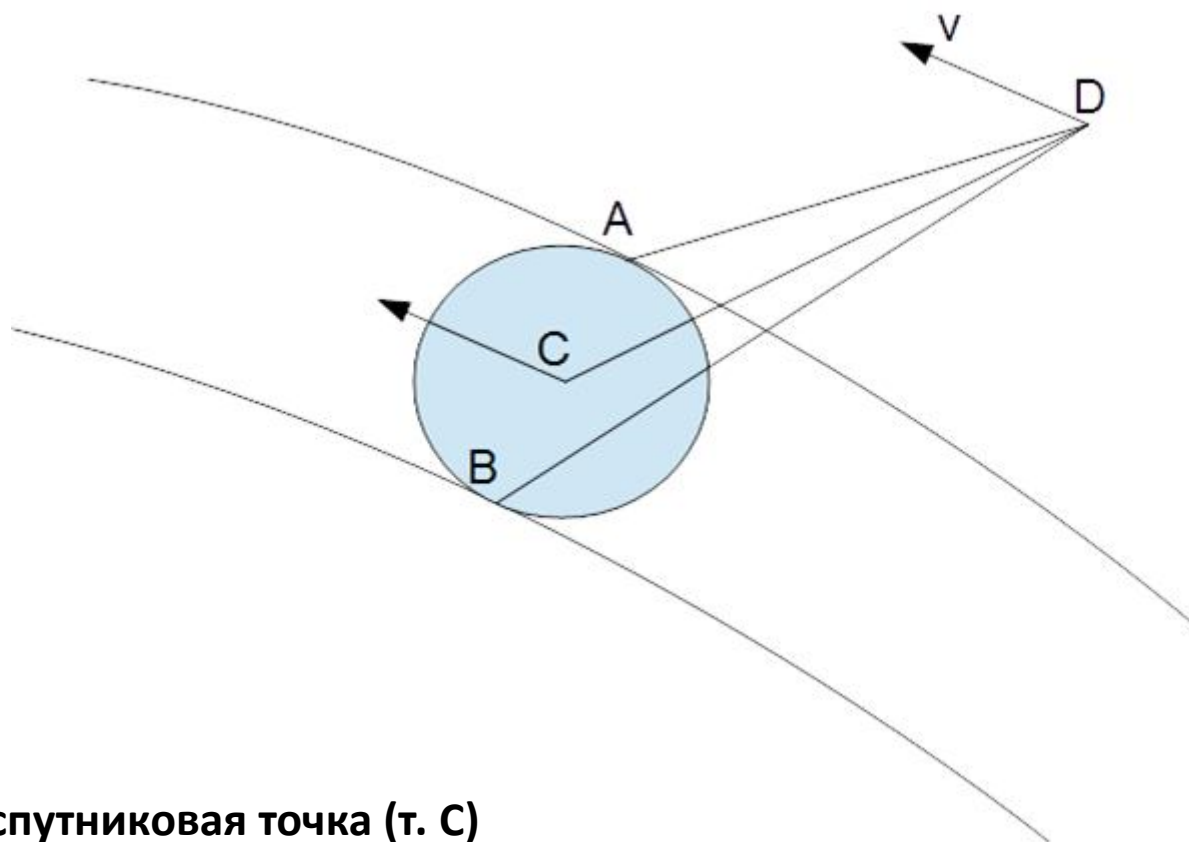
# Цели работы

Создать комплекс для анализа эффективности работы спутниковых группировок с точки зрения размера площади покрытия и частоты съемки

# Принятые допущения

- Спутник:
  - орбитальное движение:
    - Кеплерова орбита
    - Модель SGP4
  - угловое движение не учитывается, камера направлена на центр масс Земли
- Форма Земли:
  - шар
  - эллипсоид вращения (модель WGS 84)

# Терминология



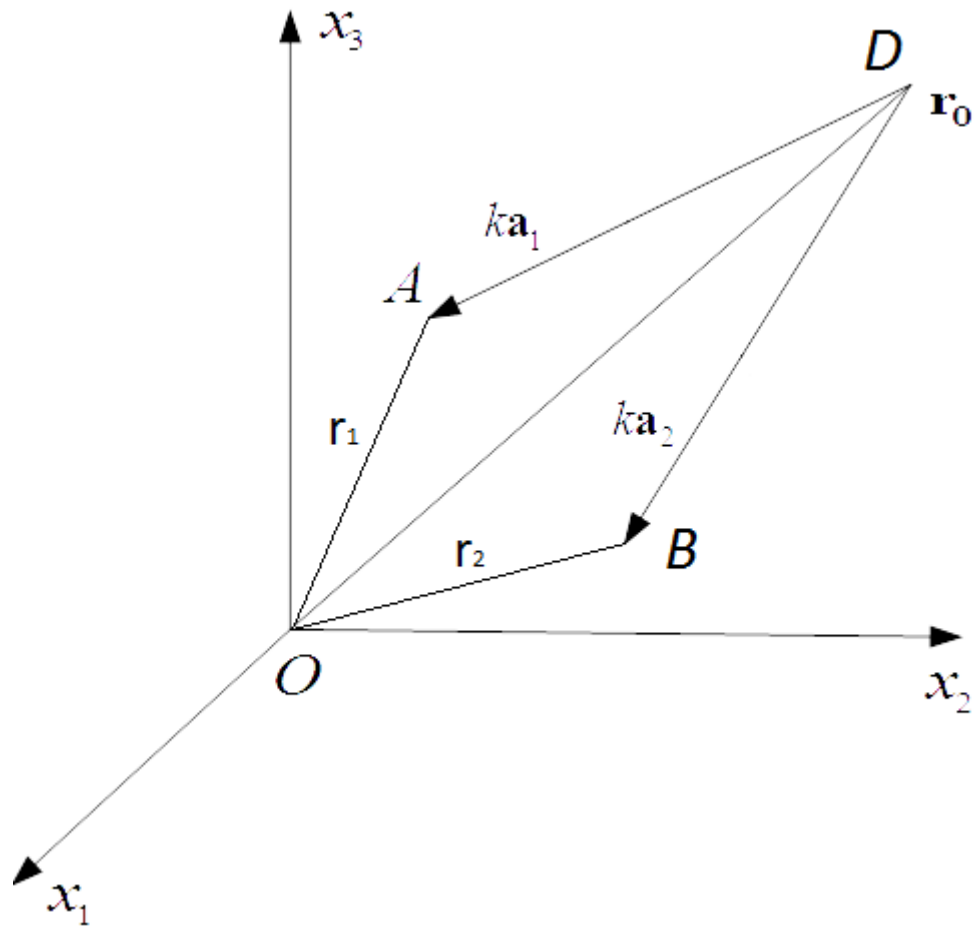
**Подспутниковая точка (т. С)**

**Мгновенная зона покрытия**

**Полоса обзора**

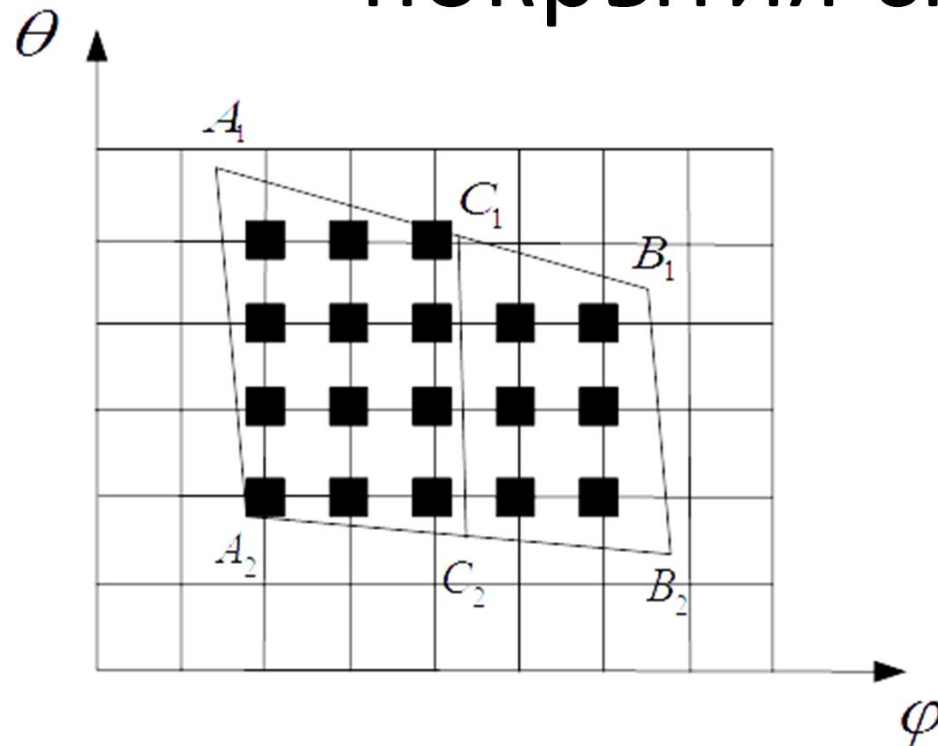
**Боковая точка (т. А и т. В)**

# Нахождение координат боковых точек



$$\begin{cases} \mathbf{r}_j = k\mathbf{a}_j + \mathbf{r}_0 \\ f(\mathbf{r}_j) = 0 \end{cases}, j = \overline{1,2}$$

# Алгоритм счета площади покрытия спутника



Полоса обзора,  
заметаемая спутником  
за время  $t = (t_2 - t_1)$

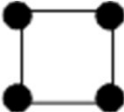


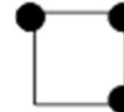
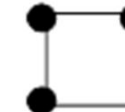

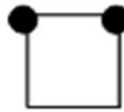

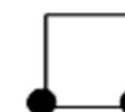
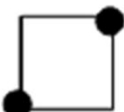





$C_1C_2$  – траектория  
подспутниковой точки  
 $A_1A_2, B_1B_2$  – траектории  
боковых точек

Вектор  $X$  принадлежит  
выпуклой оболочке  $n$   
векторов  $y_i$ , если  
выполнены условия

$$1) \quad X = \sum_{i=1}^n q_i y_i$$

$$2) \quad \sum_{i=1}^n q_i = 1, \text{ где } 0 \leq q_i \leq 1, \forall i$$

# Алгоритм счета площади покрытия спутника

1						1	
2							$7/8$
3							$1/2$
4							$3/4$
5							$1/8$

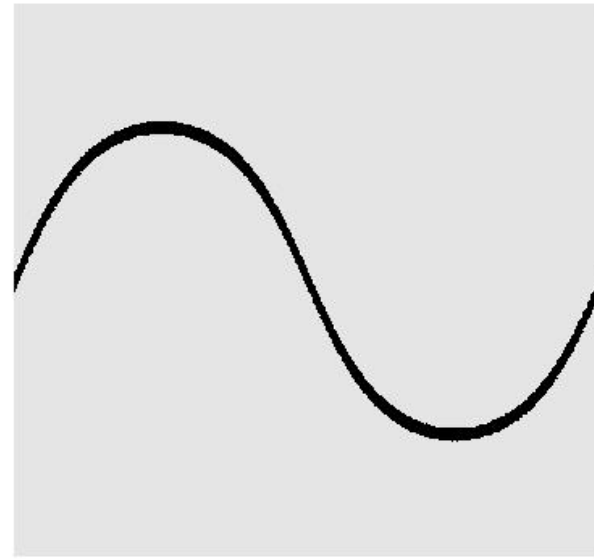
# Алгоритм счета площади покрытия спутника

Рассматривается модельная задача:

- Земля имеет форму шара
- Земля не имеет угловой скорости
- Параметры орбиты:  $\omega = 0, \Omega = 0, e = 0, p = 6800$
- $S_{теор} = 1.9522 \cdot 10^7 \text{ км}^2$



$$i_1 = 0$$



$$i_2 = 50$$



# Алгоритм счета площади покрытия спутника

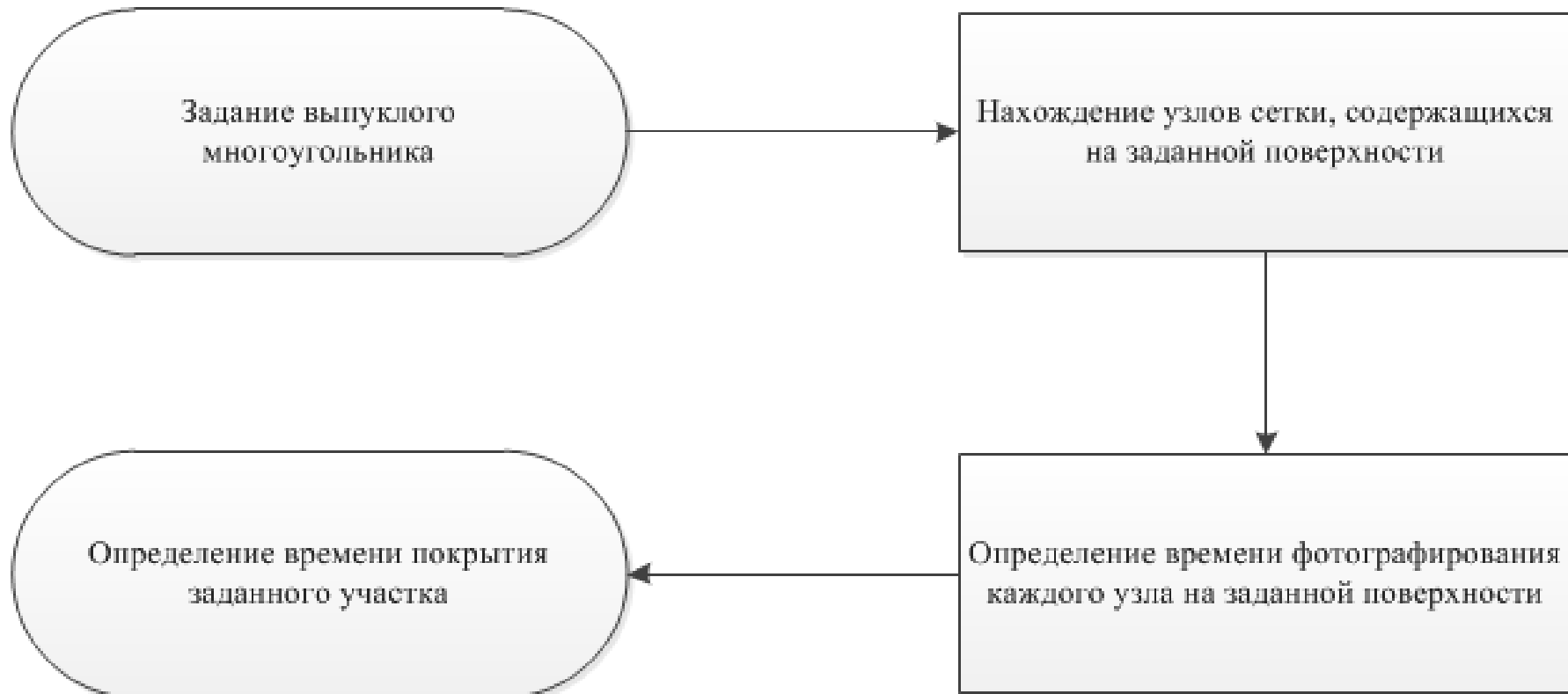
Мелкость разбиения сетки	метод счета площади	1	1, 2	1, 2, 3	1, 2, 3, 4, 5
	Наклонение орбит				
N = 500	i = 0	19.306	19.306	20.912	20.912
N = 1000	i = 0	19.287	19.287	20.090	20.090
N = 500	i = 50	18.942	18.640	19.535	19.778
N = 1000	i = 50	18.406	19.257	19.703	19.824

$$S_{теор} = 19.522 \cdot 10^6 \text{ км}^2$$

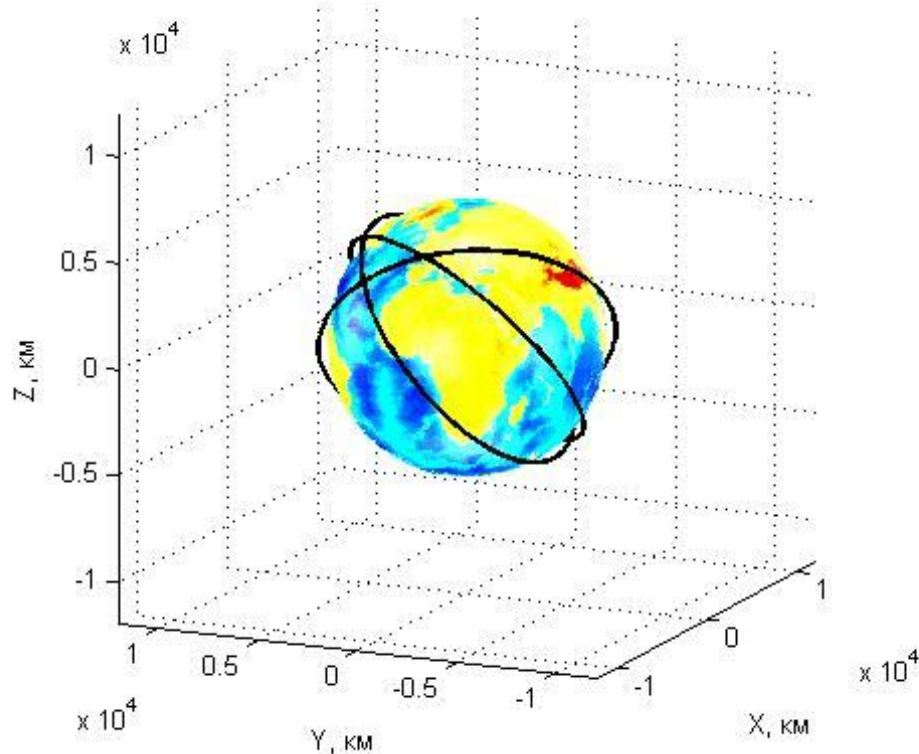
# Определение частоты съемки заданной поверхности

- определить частоту съемки заданной поверхности
- определить долю сфотографированной поверхности в случае неполного заметания

# Алгоритм нахождения частоты съемки заданной поверхности



# Пример расчета фотографирования заданной территории

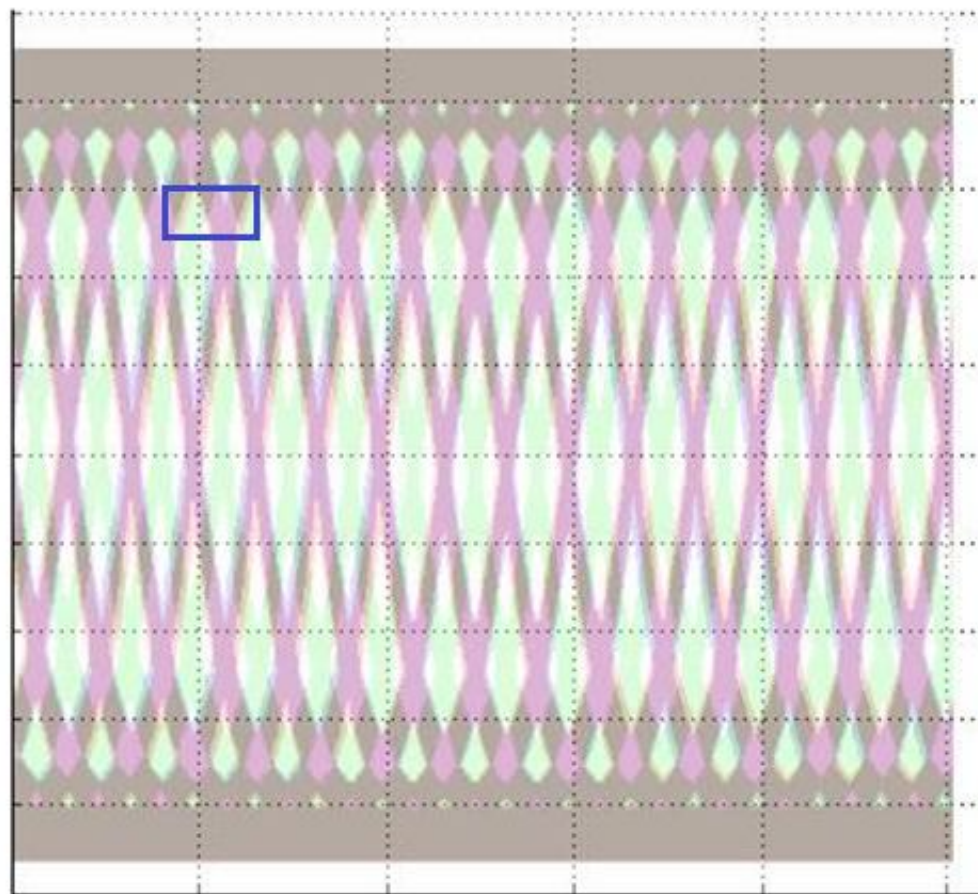


- Поверхность ограничена:  
55°-65° с.ш. и 80°-120° в.д.
- Время расчета 24 часа
- Апертура камеры обзора равна 60°
- Параметры орбиты:  
 $\Omega_1 = 36^\circ, \Omega_2 = 96^\circ, \Omega_3 = 156^\circ,$   
 $i = 51^\circ, e = 0,$   
 $p = 6800 \text{ км}$

# Пример расчета фотографирования заданной территории

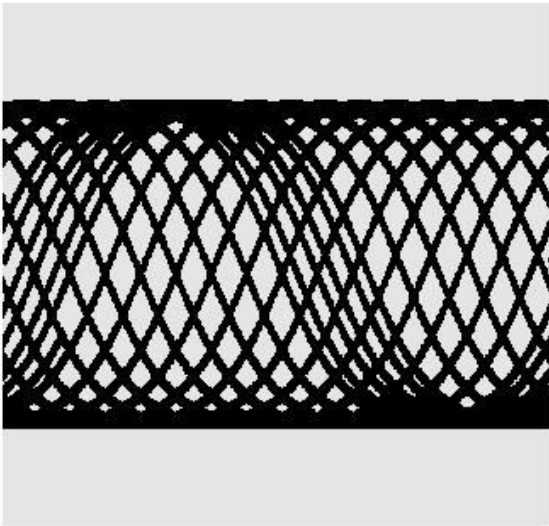
Количество спутников Размер Сетки	1	2	3
100	275.65 0.7158	425.52 0.9824	448.68 0.9824
500	274.46 0.6907	421.05 0.9912	444.28 0.9934
1000	274.53 0.6913	421.02 0.9920	444.20 0.9938

# Пример расчета фотографирования заданной территории



# Интерфейс программы

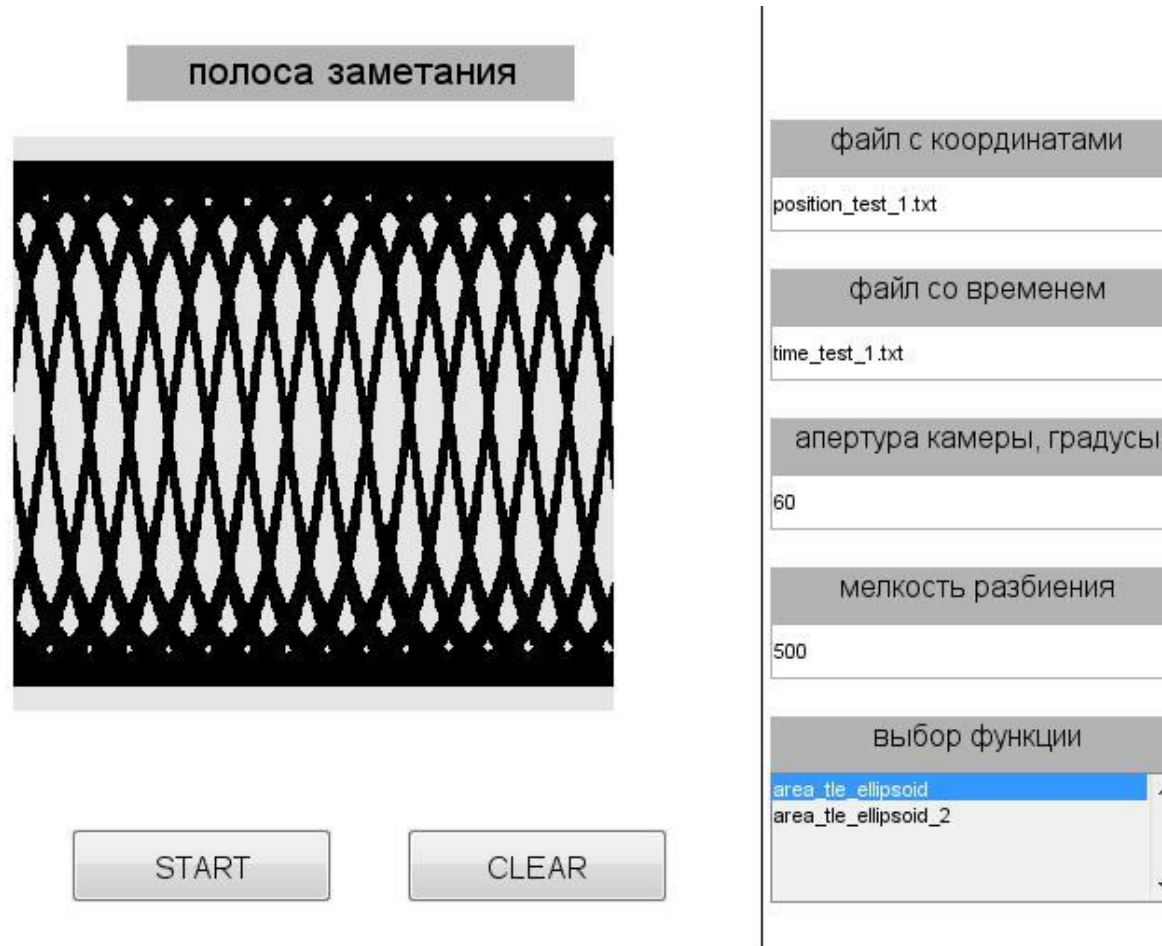
ПОЛОСА ЗАМЕТАНИЯ



START CLEAR

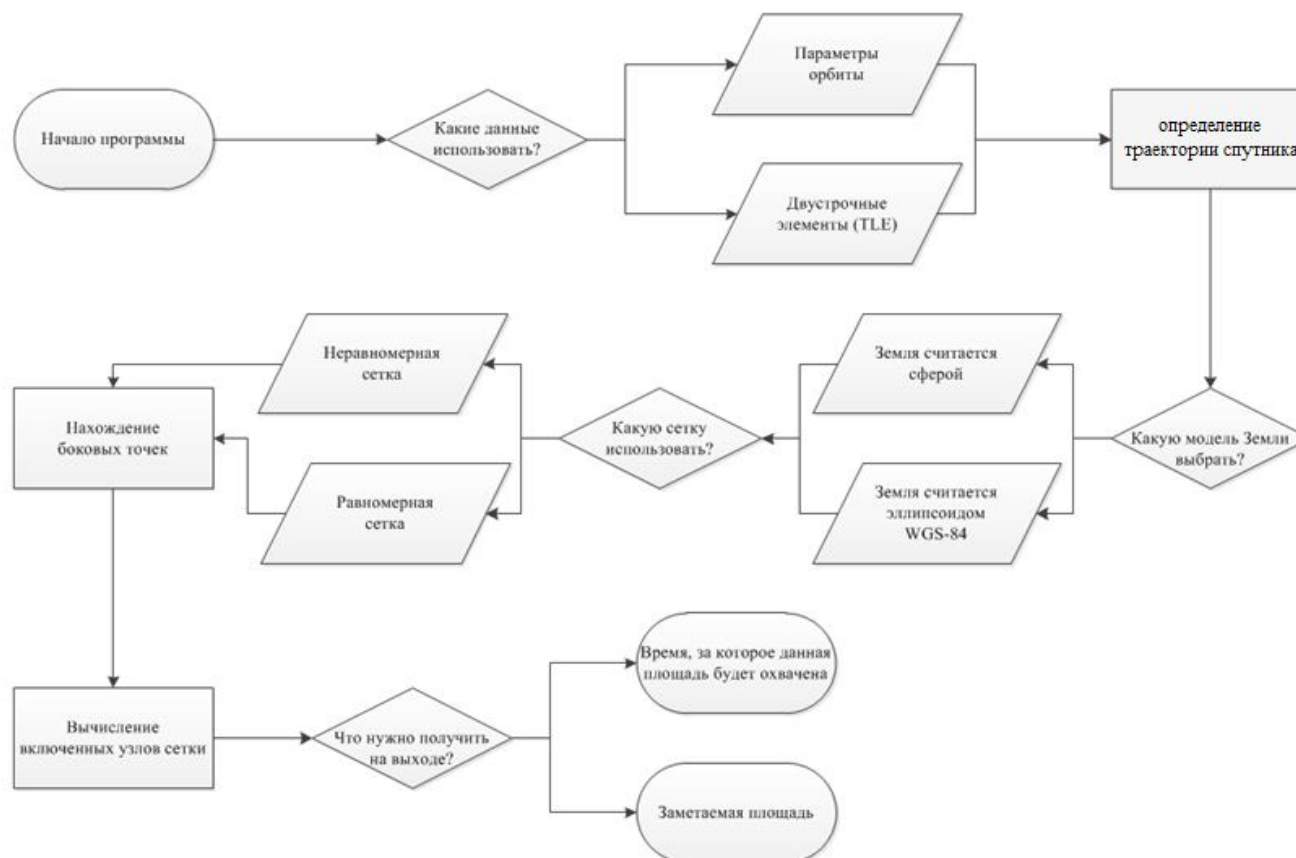
р, км	angle, градусы
6800	60
е	N
0	500
i, градусы	step, сек
55	100
w, градусы	t_end, сек
0	100000
W, градусы	t_start, сек
0	0
выбор функции	t_per, сек
area_orbit_elements	0

# Интерфейс программы





# Блок-схема программы



# Результаты

Создан комплекс для анализа эффективности работы спутниковых группировок с точки зрения размера площади покрытия и частоты съемки:

- Создана методика для расчета площади покрытия Земли спутником дистанционного зондирования
- Реализована визуализация траекторий спутника, подспутниковой и боковых точек
- Реализована программа расчета заметаемой спутником площади
- Реализована программа расчета времени, занимаемого на просмотр конкретной области на поверхности
- Реализован пользовательский интерфейс программы для расчета площади покрытия

Спасибо за внимание