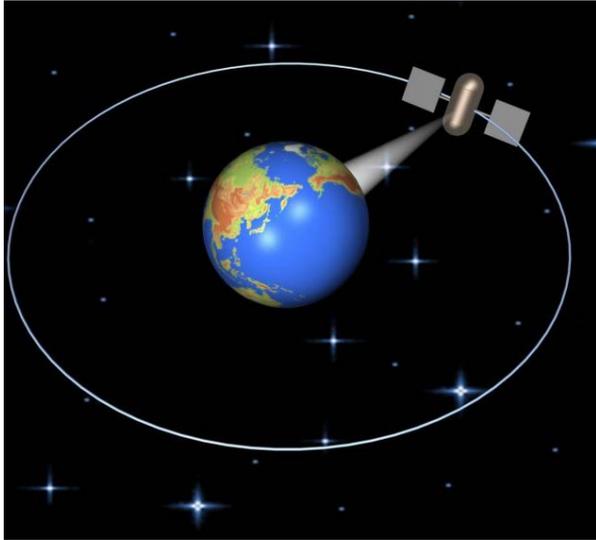


**Подход к синтезу орбитального построения многоспутниковой группировки исследования Земли в видимом диапазоне с высокой периодичностью обзора.**

***Рудых В.П.  
Гончар А.В.  
Эфендиева Д.Р.***

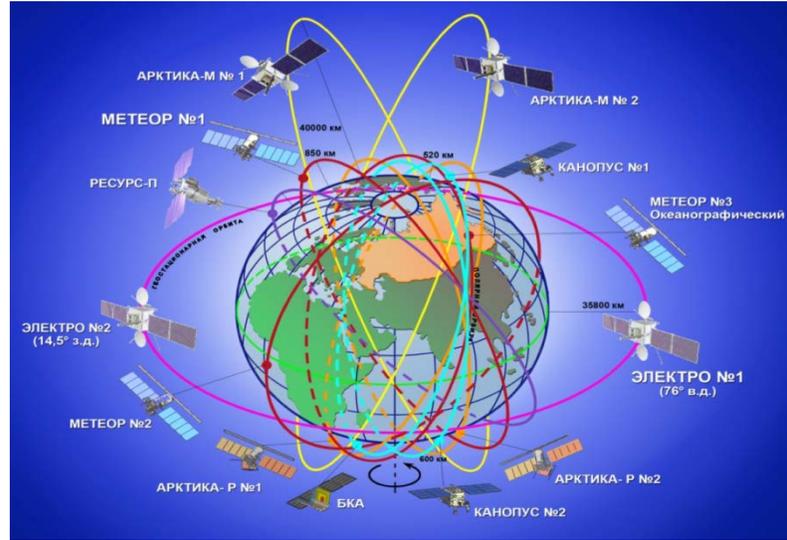
Подход к проектированию:

Один аппарат



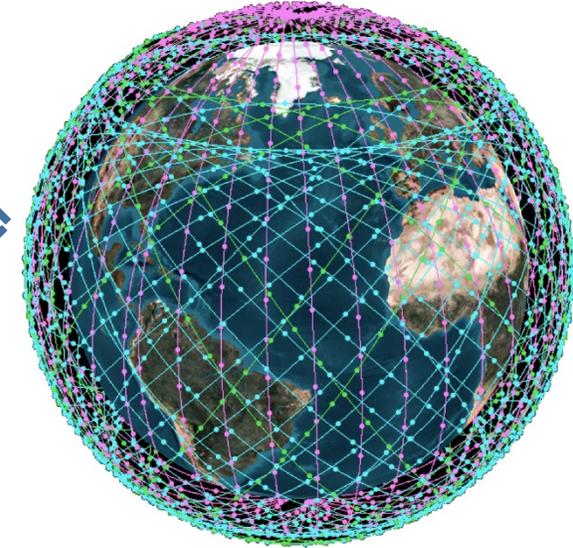
Вчера

Серия схожих КА



Сегодня

Связанная много спутниковая группировка



Завтра

Проектирование с использованием средств цифрового моделирования

## Основные проблемы

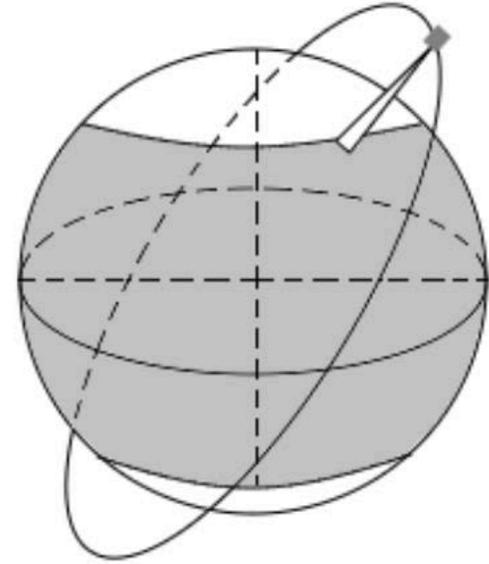
1. Сложность оптимизации многих параметров
2. Не существует общепринятых методик расчетов для многоспутниковых группировок
3. Требуется большое число расчетов

## Преимущества

1. Комплексная оценка эффективности
2. Взаимосвязанные расчетные модули для разных задач

Необходимы теоретические подходы к проектированию

- обзорность;
- разрешающая способность;
  - спектральная;
  - радиометрическая;
  - линейное разрешение на местности (ЛРМ);
  - точность привязки координат.
- производительность;
- оперативность доставки данных наблюдения;
- оперативность выполнения заявок на наблюдение (съемку).



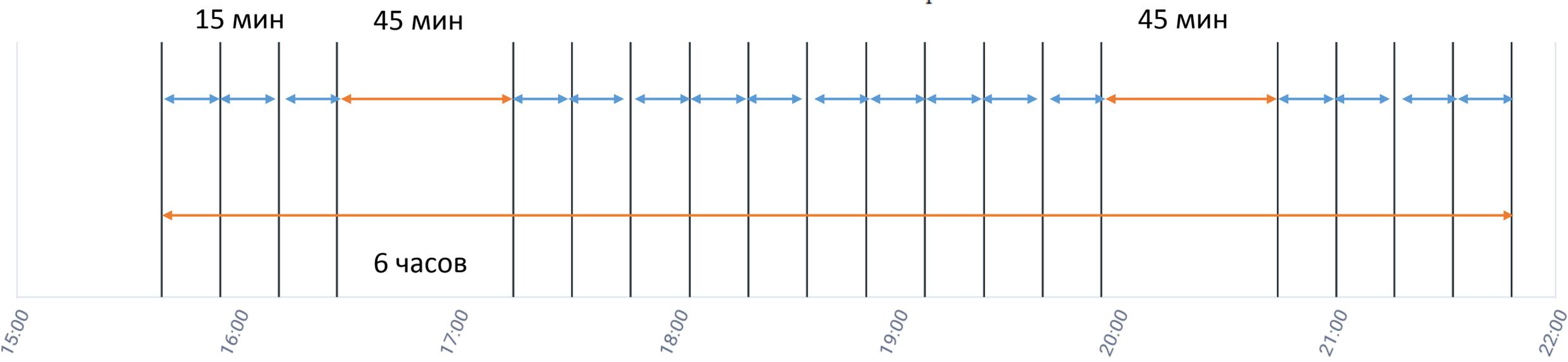
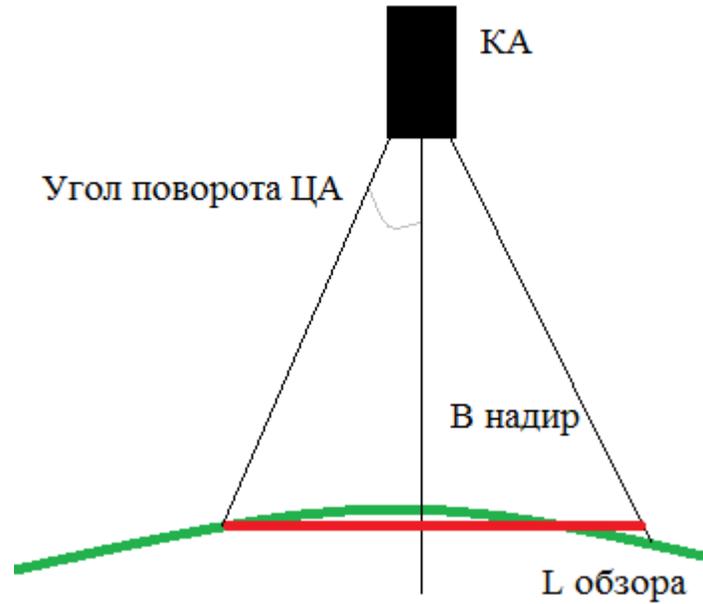
# Потенциальная периодичность попадания локального объекта в зону обзора ЦА КА.

За период наблюдения

Мин: 15 мин  
Макс: 45 мин  
Сред: 18 мин

За сутки наблюдения

Мин: 15 мин  
Макс: 1080 мин (18 час)  
Сред: 72 мин



Промежутки между осмотрами

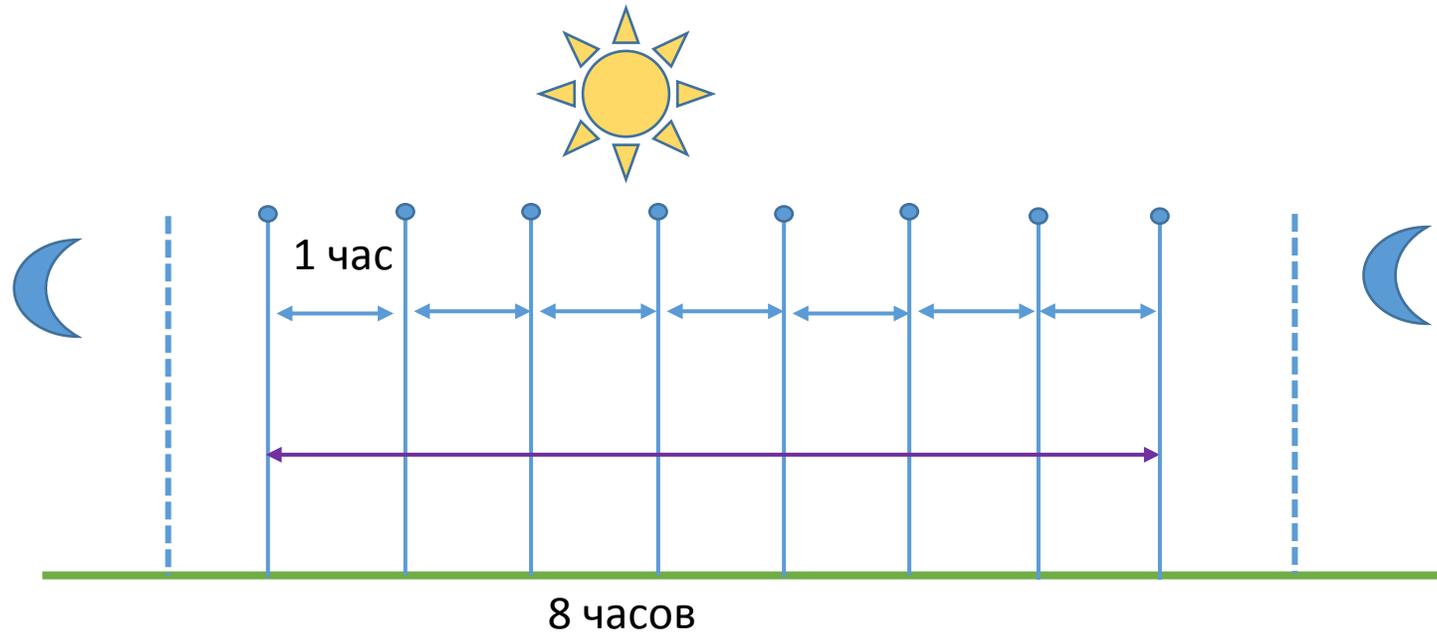
1 час - 7  
17 часов - 1

За период наблюдения

Мин: 1 час  
Макс: 1 час  
Сред: 1 час

За сутки наблюдения

Мин: 1 час  
Макс: 17 часов  
Сред: 3 часа



- Внутрисуточная периодичность
- Число осмотров в сутки

$$x * p_d = T_d$$

- $x$  – число осмотров в сутки,
- $p_d$  средняя внутрисуточная периодичность,
- $T_d$  – продолжительность суток.

$$NT_{\text{сут}} = nT_{\text{ВИТ}}$$

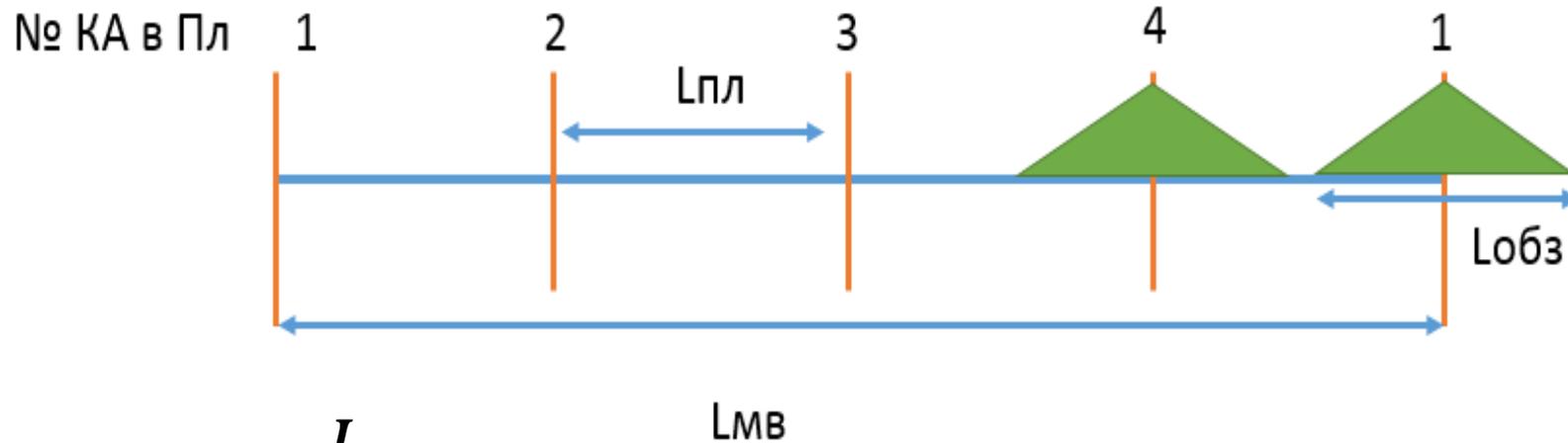
$$x = \frac{n * Q * L_{\text{обз}}}{L_{\varphi} * N}$$

- $L_{\varphi}$  – длина параллели на заданной широте, км. В общем случае – длина экватора;
- $x$  – среднее число осмотров случайной точки на данной параллели в день,
- $L_{\text{обз}}$  – полоса обзора КА, км, .;
- $Q$  – число КА в ОГ.
- $n$  – полное число витков за период кратности,
- $N$  – период кратности, сут.
- Числа  $N, n$  – натуральные

- Оценка общего числа КА в ОГ
- Оценка числа КА в плоскости
- Расчет числа плоскостей и выбор итогового количественного состава
- Определение шага по ДВУ
- Определение фазировки плоскостей

$$L_{\text{МВ}} = \frac{L_{\varphi} * N}{n}$$

- $L_{\text{МВ}}$  – межвитковое расстояние, км.
- $L_{\varphi}$  – длина параллели на заданной широте, км.;
- $n$  – полное число витков за период кратности,
- $N$  – период кратности, сут.
- Числа  $N, n$  – натуральные.
- $L_{\text{обз}}$  - полоса обзора КА



$$q_{\text{ка}} = \frac{L_{\text{МВ}}}{L_{\text{обз}}}$$

$q_{\text{ка}}$  **число КА в плоскости** для обеспечения одного осмотра точки за время смещения плоскости над этой точкой

$$q_{\text{ка}}(k) = q_{\text{ка}} * k = k * \frac{L_{\text{МВ}}}{L_{\text{обз}}}$$

$q_{\text{ка}}(k)$  - число КА в плоскости в зависимости от числа осмотров точки за один виток в данной плоскости

$k = 1, 2, 3...$  Показывает число осмотров точки, лежащей в интервале  $L_{\text{МВ}}$  за время смещения плоскости орбиты над этой точкой.

Прим.: при  $k > 1$  время между двумя последовательными осмотрами КА из одной плоскости равно  $T_{\text{др}} / q_{\text{ка}}$

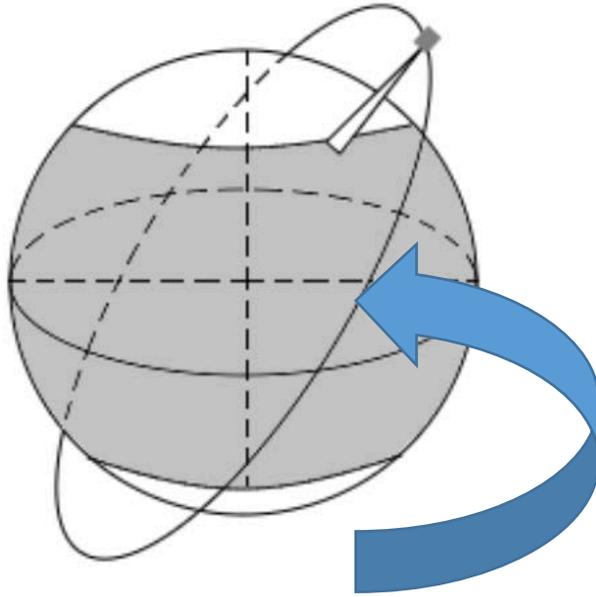
$T_{\text{др}} / q_{\text{ка}} \geq p \Rightarrow k \leq T_{\text{др}} * L_{\text{обз}} / L_{\text{МВ}} * p$ , где  $T_{\text{др}}$  - драконический период обращения КА

$$Q = \frac{T_{\text{св.сут.}} * L_{\varphi} * N}{n * p * L_{\text{обз}}}$$

$$q_{\text{пл}} = \frac{Q}{q_{\text{ка}}}$$

$$q_{\text{ка}}(k) = k * \frac{L_{\text{МВ}}}{L_{\text{обз}}}$$

- $Q$  – число КА в ОГ,
- $q_{\text{пл}}$  – число плоскостей
- $L_{\varphi}$  – длина параллели на заданной широте, км.;  
в общем случае – длина экватора,
- $L_{\text{обз}}$  – полоса обзора КА, км;
- $n$  – полное число витков за период кратности,
- $N$  – период кратности, сутки;
- $T_{\text{св.сут.}}$  – продолжительность световых суток, мин;
- $p$  – целевая периодичность, мин.
- Числа  $N, n$  – натуральные
- $q_{\text{ка}}$  – число КА в плоскости
- $k$  – число осмотров точки в интервале  $L_{\text{МВ}}$  за один виток
- $L_{\text{МВ}}$  – межвитковое расстояние

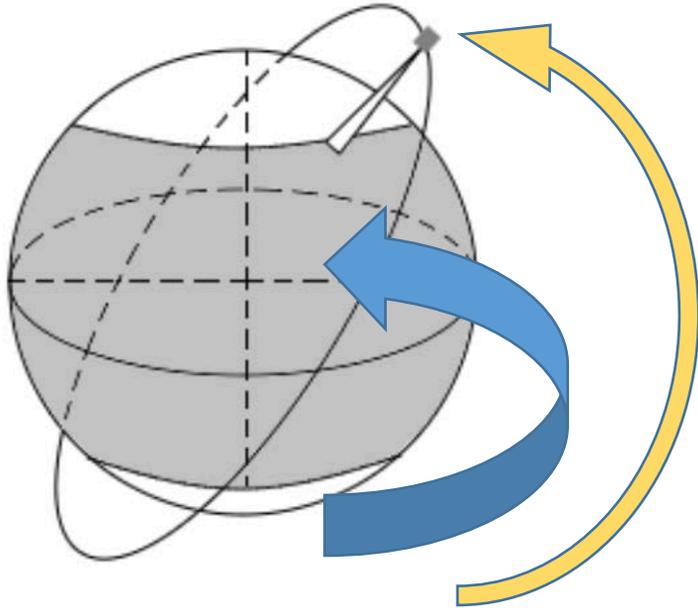


360 град = 24 часа

$$\Delta\Omega = k * p * 360 / 24 * 60$$

- $\Delta\Omega$  – шаг между плоскостями по ДВУ, град. ;
- $p$  – целевая внутридневная периодичность.

При  $k > 1$  время между двумя последовательными осмотрами КА из одной плоскости равно  $T_{др} / q_{ка}$



$$\Delta\vartheta = \frac{360}{T_{др}} * \frac{360}{24 * 60} * \Delta\Omega + \frac{360}{2q_{ка}}$$

Угловая скорость КА по ист.  
Аномалии град. в мин.

Коэф. Перевода  
град. ДВУ в мин.

Половина шага КА по истинной  
аномалии внутри плоскости  
(Опционально)

- $\Delta\vartheta$  – Разность начальных истинных аномалий 1 го КА двух соседних плоскостей (фазовый сдвиг), град.
- $T_{др}$  - Драконический период обращения КА, мин.
- $\Delta\Omega$  – Шаг между соседними плоскостями по ДВУ
- $q_{ка}$  - число КА в плоскости

1. Оценка общего числа КА в ОГ

$$Q = \frac{T_{\text{св.сут.}} * L_{\varphi} * N}{n * p * L_{\text{обз}}}$$

2. Оценка числа КА в плоскости

$$q_{\text{ка}}(k) = k * \frac{L_{\text{МВ}}}{L_{\text{обз}}}$$

3. Расчет числа плоскостей

$$q_{\text{пл}} = \frac{Q}{q_{\text{ка}}(k)}$$

4. Шаг по ДВУ

$$\Delta\Omega = k * p * \frac{360}{24 * 60}$$

5. Фазировка плоскостей

$$\Delta\vartheta = \frac{360}{T_{\text{др}}} * \frac{360}{24 * 60} * \Delta\Omega + \frac{360}{2q_{\text{ка}}(k)}$$

## 1. Оценка общего числа КА в ОГ

$$Q = \frac{T_{\text{св.сут.}} * L_{\varphi} * N}{n * p * L_{\text{обз}}} = \frac{480 * 30\,000 * 7}{109 * 20 * 718} \approx 65$$

## 2. Оценка числа КА в плоскости

$$k = 1: q_{\text{ка}}(k) = k * \frac{L_{\text{мв}}}{L_{\text{обз}}} = \frac{1926}{718} \approx 2,5$$

$$k = 2: q_{\text{ка}}(k) = 5$$

$$T_{\text{др}} / q_{\text{ка}} \approx p \approx 20 \text{ мин.}$$

## 3. Расчет числа плоскостей

$$q_{\text{пл}} = \frac{Q}{q_{\text{ка}}(k)} = \frac{65}{5} = 13$$

### 1. Шаг по ДВУ

$$\Delta\Omega = k * p * \frac{360}{24 * 60} = 20 * \frac{360}{24 * 60} = 10^\circ$$

### 2. Фазировка плоскостей

$$\Delta\vartheta = \frac{360}{T_{\text{др}}} * \frac{360}{24 * 60} * \Delta\Omega = 10^\circ$$



8 пл. x 8 КА:

8 плоскостей с равномерным шагом  $22,5^\circ$  по ДВУ. 8 КА в каждой плоскости расположены равномерно, без смещения относительно соседних плоскостей.



13пл. X 5 КА:

Количество плоскостей с КА аналогично расчётным значениям.

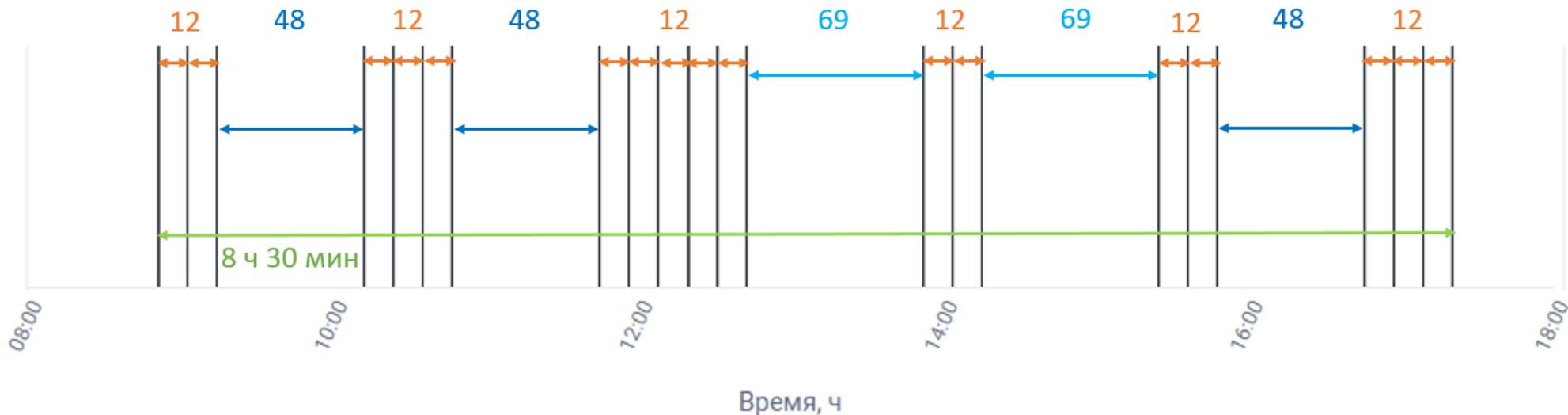
Сдвиг КА на  $36^\circ$  через одну плоскость.



## 8x8 КА

За период наблюдения

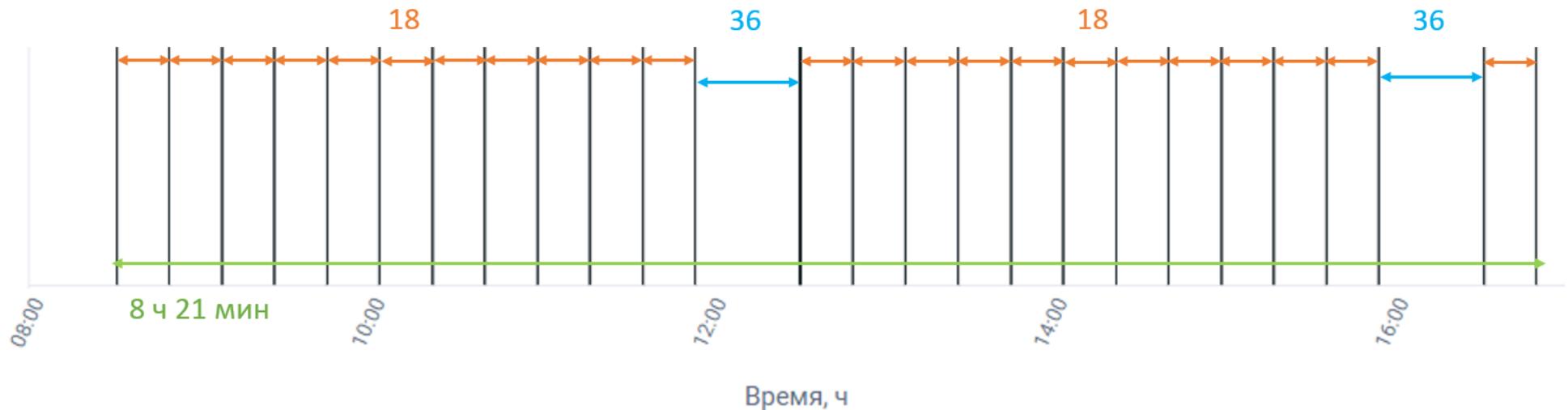
Мин: 12 мин  
 Макс: 69 мин  
 Сред: 22 мин



## 13x5 КА (межплоскостное смещение 10 гр.)

За период наблюдения

Мин: 18 мин  
 Макс: 36 мин  
 Сред: 19 мин



**ОГ по предл. методике**

За период наблюдения

Мин: 18 мин  
 Макс: 36 мин  
 Сред: 19 мин

За сутки наблюдения

Мин: 18 мин  
 Макс: 941 мин (15 ч 41 мин)  
 Сред: 55 мин

**8x8**

За период наблюдения

Мин: 12 мин  
 Макс: 69 мин  
 Сред: 22 мин

За сутки наблюдения

Мин: 12 мин  
 Макс: 930 мин (15 ч 30 мин)  
 Сред: 63 мин

**Шахм. расстановка**

За период наблюдения

Мин: 9 мин  
 Макс: 28 мин  
 Сред: 19 мин

За сутки наблюдения

Мин: 9 мин  
 Макс: 941 мин (15 ч 41 мин)  
 Сред: 55 мин

1. Анализ рез-в моделирования показывает большую информативность предложенного критерия внутрисуточной периодичности по сравнению со среднесуточной.

2. Предложенная методика обеспечивает равномерность временных промежутков между осмотрами точки на заданной широте.

3. ОГ синтезированная согласно предложенной методике обеспечивает наименьшее отклонение промежутков между осмотрами от заданной целевой периодичности.

4. Предложенная методика легко алгоритмируется и может быть использована в составе автоматизированных комплексов синтеза и оценки эффективности космических систем ДЗЗ.

*Спасибо за внимание!*

