

Куренков В.И., Кучеров А.С.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ПЕРИОДИЧНОСТЬ НАБЛЮДЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Одним из важнейших показателей целевой эффективности космических аппаратов (КА) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) является показатель периодичности – интервал времени между последовательными попаданиями заданного объекта наблюдения (ОН) в пределы полосы обзора.

Показатель периодичности зависит от многих факторов: типа орбиты, её параметров, прецессии орбиты, годового движения Земли относительно Солнца, координат объекта наблюдения, максимального возможного отклонения оптической оси КА от направления в надир, размера светового пятна (зоны возможной съёмки, определяемой высотой стояния Солнца над горизонтом) и др.

Все эти факторы сами по себе являются детерминированными, однако их совместное действие приводит к тому, что целевые параметры КА ДЗЗ могут рассматриваться как псевдослучайные. Соответственно, к ним могут быть формально применены методы математической статистики, в частности, рассчитаны функции распределения и плотности распределения указанных параметров.

Для оценки периодичности были использованы заимствованные [1, 2] и специально разработанные [3] математические модели и алгоритмы, реализованные в программном обеспечении ЕФКАН.

Исследовано влияние на показатель периодичности таких факторов, как высота орбиты космического аппарата H , максимальное значение угла отклонения оптической оси от надира γ и географическая широта объекта наблюдения φ . Орбита КА – солнечносинхронная, долгота восходящего узла – 0 градусов, угол Солнца над горизонтом, при котором съёмка возможна, составляет 45 градусов.

На рис. 1 показаны фрагменты окна вывода результатов с графиками функции распределения и функции плотности распределения периодичности наблюдения объекта, расположенного на географической широте 50° , для $H=490$ км и $\gamma =40^\circ$, на рис. 2 – для $H=490$ км и $\gamma =60^\circ$. Можно видеть, что с увеличением угла γ показатель периодичности уменьшился с 21,19 час до 9,61 час. Такое уменьшение показателя

периодичности объясняется увеличением ширины полосы обзора, что может быть проиллюстрировано на рис. 3. На данном рисунке показано сечение Земли, проходящее через её центр O , через спутник K и подспутниковую точку P , точки A и B – граничные точки сечения зоны обзора космического аппарата. Угол γ представляет собой максимальный угол разворота оптической оси оптико-электронного телескопического комплекса (ОЭТК) в произвольном направлении от надира. Этот угол, как правило, задаётся при проектировании КА из условий обеспечения необходимого качества снимка.

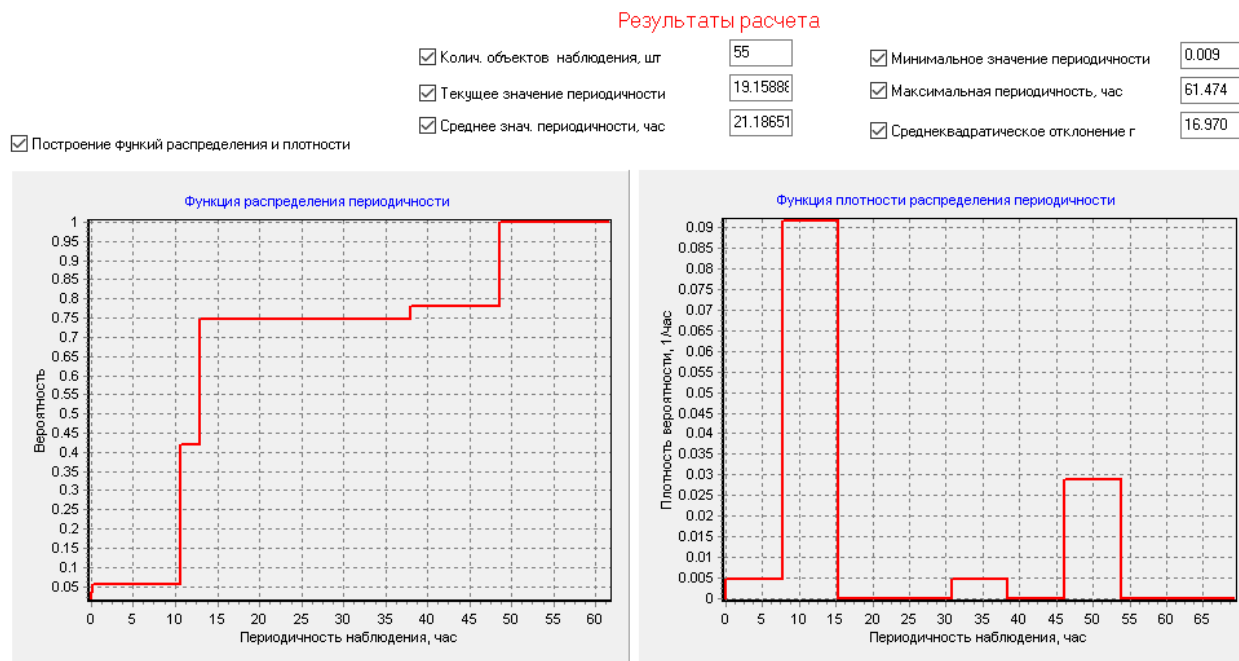


Рис. 1. Результаты расчёта показателя периодичности при $H=490$ км и $\gamma=40^\circ$

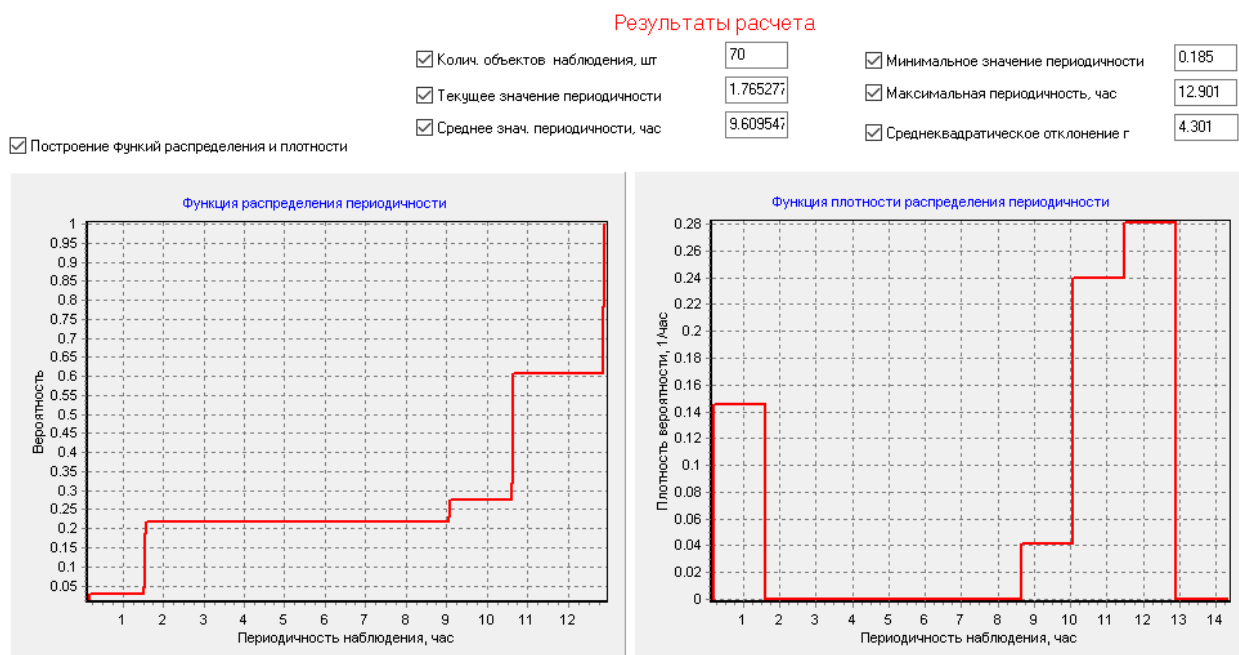


Рис. 2. Результаты расчёта показателя периодичности при $H=490$ км и $\gamma=60^\circ$

Увеличение высоты орбиты КА оказывает на показатель периодичности неоднозначное влияние: с одной стороны, ширина полосы обзора при этом увеличивается и повторный захват объекта аппаратурой наблюдения происходит через меньшее число витков орбиты; с другой стороны, увеличивается период обращения КА. Однако, как показывает анализ, преобладающей является первая тенденция.

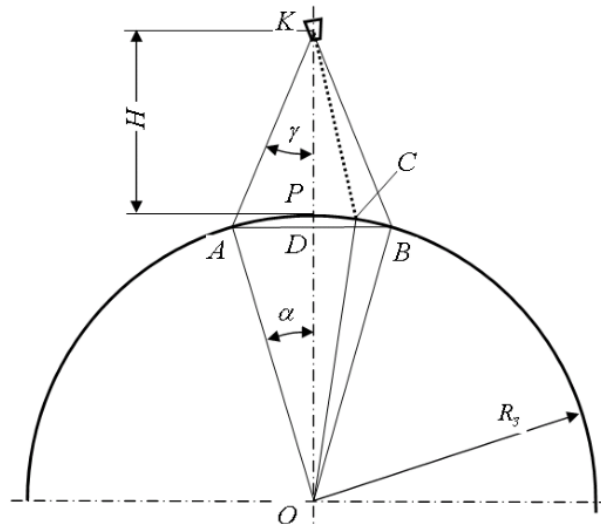


Рис. 3. Схема для определения радиуса зоны обзора КА ДЗЗ

На рис. 4 показаны результаты расчёта показателя периодичности объекта, расположенного на географической широте 50° , для $H=490$ км и $\gamma = 40^\circ$, на рис. 5 – для $H=617$ км и $\gamma = 40^\circ$.

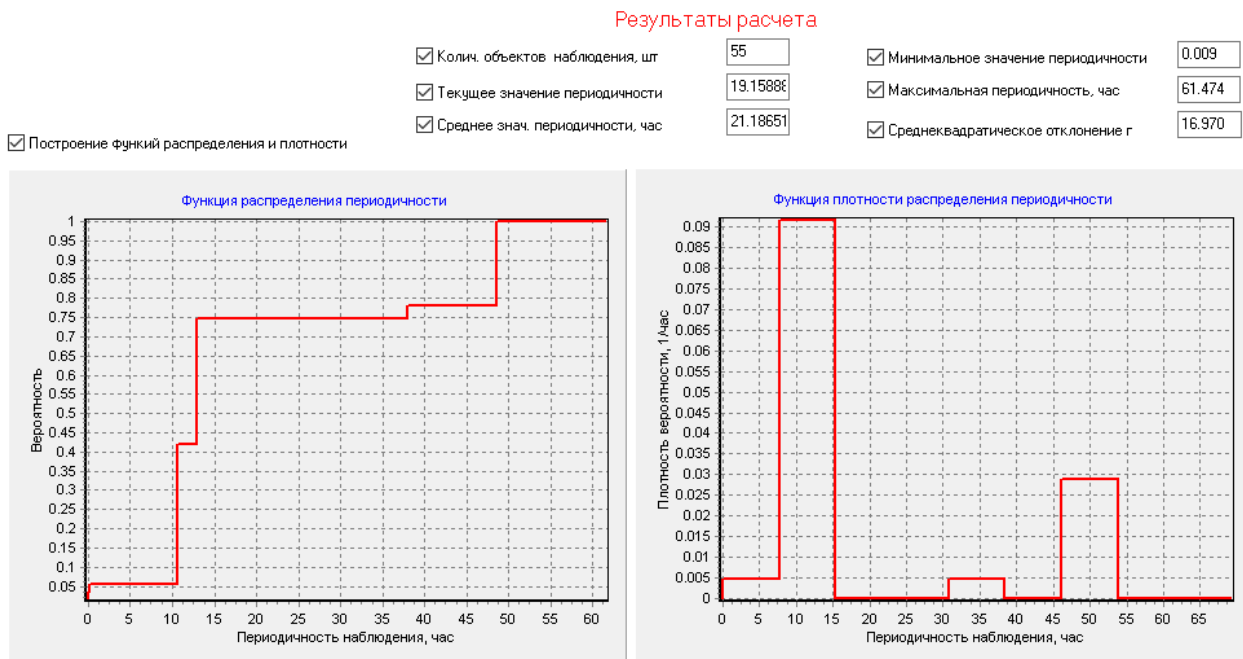


Рис. 4. Результаты расчёта показателя периодичности при $H=490$ км и $\gamma=40^\circ$

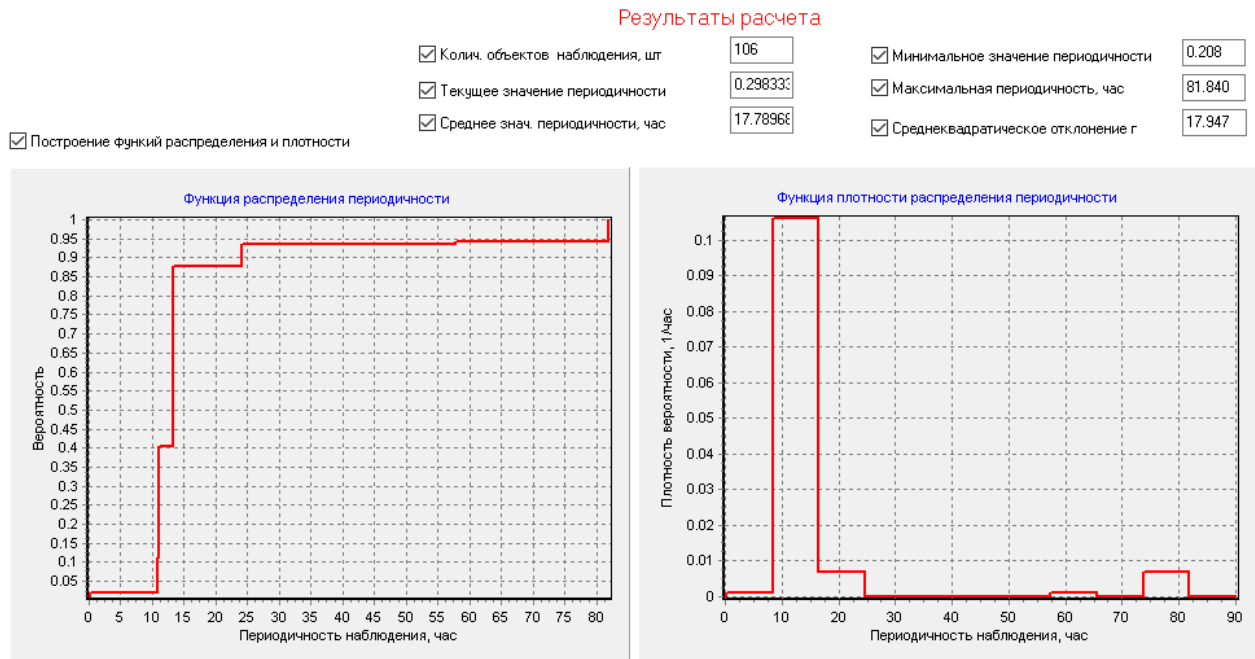


Рис. 5. Результаты расчёта показателя периодичности при $H=617$ км и $\gamma=40^\circ$

Можно видеть, что с увеличением высоты орбиты среднее значений показателя периодичности уменьшилось с 21,19 час до 17,79 час.

На рис. 6 показано изменение показателя периодичности КА ДЗЗ в зависимости от географической широты объекта наблюдения φ при следующих исходных данных: высота орбиты равна 729 км, угол наклонения орбиты равен $98,3^\circ$, максимальный угол отклонения оси ОЭТК от надира составляет 45° .

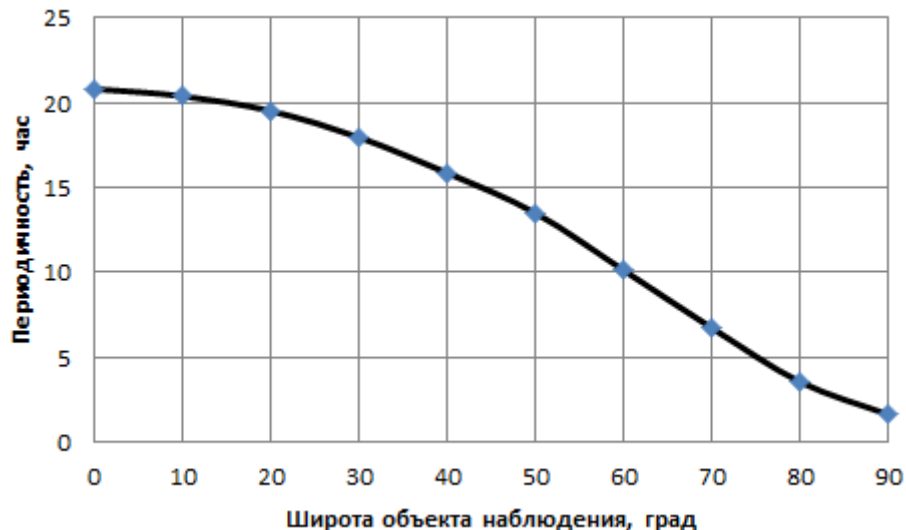


Рис. 6. Зависимость показателя периодичности КА ДЗЗ от широты ОН

Можно видеть, что значение показателя периодичности с ростом широты φ уменьшается, его величина ограничивается снизу значением периода обращения КА.

На рис. 7, 8 приведены результаты моделирования для следующих параметров: высота орбиты 617 км (аналогично КА ДЗЗ WorldView-4); угол наклонения орбиты –

98 градусов; угол Солнца над горизонтом (при котором возможна съёмка) – 45 градусов; географическая широта объекта наблюдения – 50 градусов; максимальное значение угла отклонения оптической оси от надира – 40 градусов.

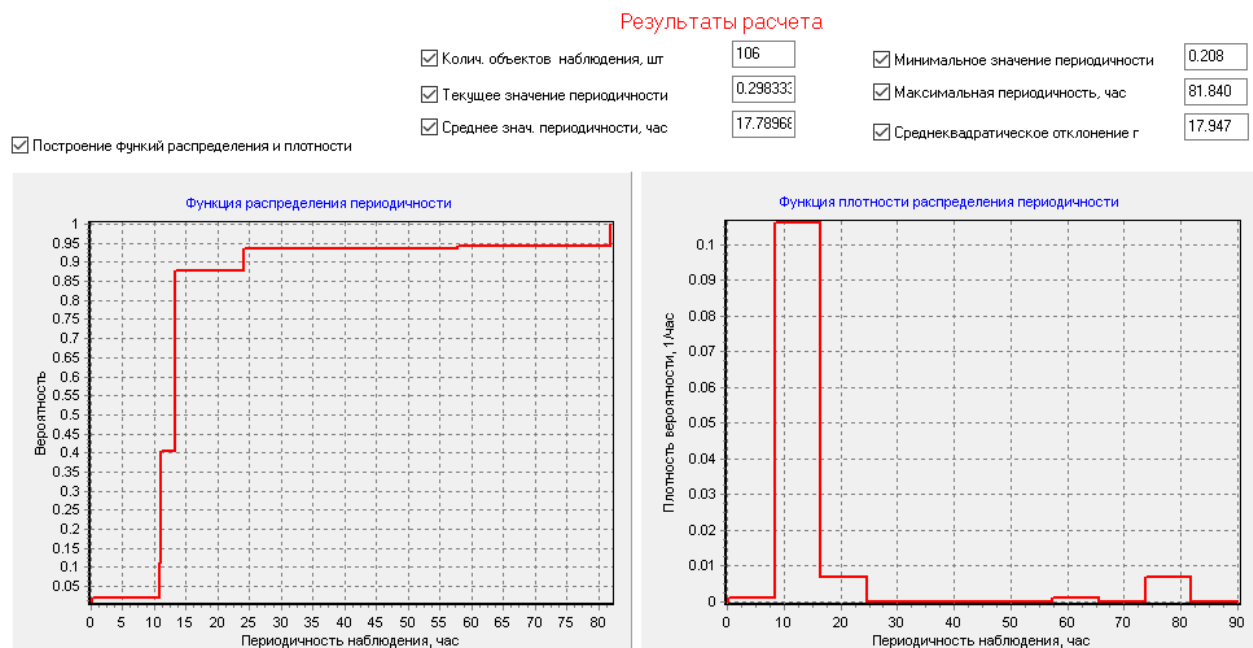


Рис. 7. Результаты расчёта показателя периодичности при имитации 70 суток полёта КА

Результаты, приведённые на рис. 7, соответствуют примерно 70 суткам полёта, а показанные на рис. 8 – 1370 суткам (примерно 3,75 года) полёта. Можно видеть, что функция плотности распределения показателя периодичности на рис. 7 отличается от аналогичной функции на рис. 8. Такое различие связано с годовым движением Земли относительно Солнца.

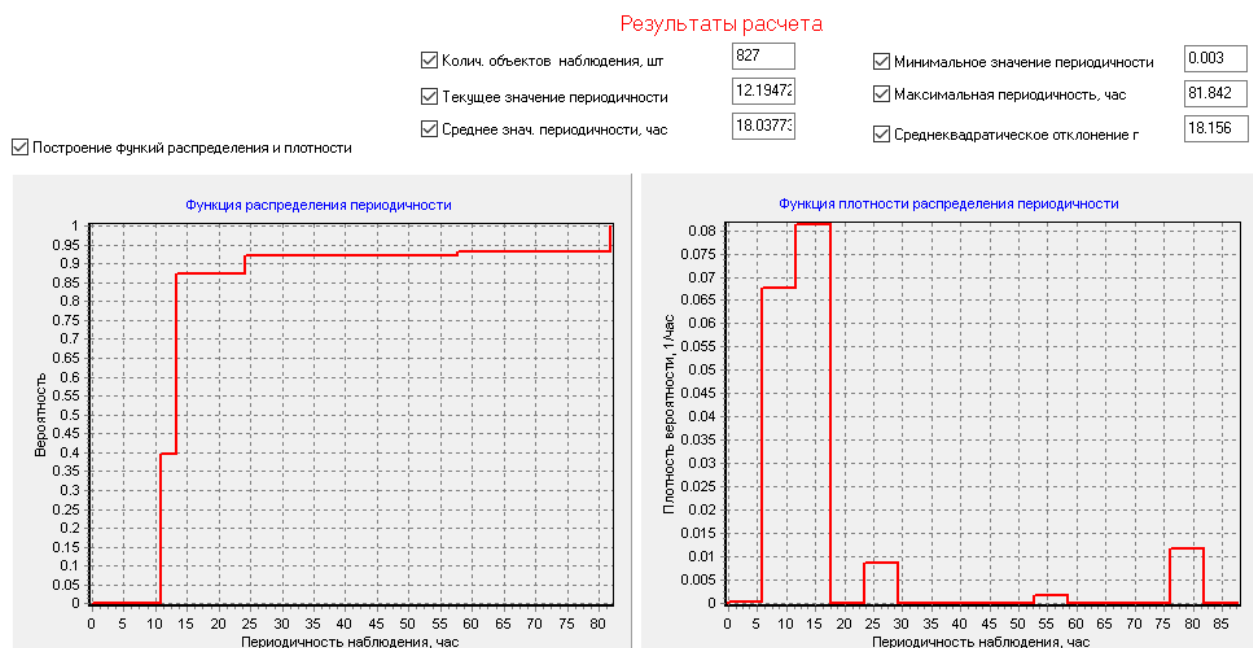


Рис. 8. Результаты расчёта показателя периодичности при имитации 1370 суток полёта КА

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы.

1. Функция распределения и функция плотности распределения показателя периодичности зависят от многих факторов.

2. Ступенчатый вид графиков объясняется тем, что, в зависимости от сочетания воздействующих факторов, объект наблюдения может как попасть в пределы полосы обзора на нескольких последовательных витках КА, так и оказаться вне её.

3. Имеется множество вариантов сочетаний влияющих факторов, при которых наблюдение объектов невозможно (объект в тени; объект в приполярных областях; долгота восходящего узла орбиты такова, что объект находится в условиях, неблагоприятных для наблюдения, и др.).

4. Для каждого сочетания факторов существуют минимальные и максимальные значения показателя периодичности. На начальных стадиях проектирования КА ДЗЗ могут использоваться эти граничные значения или математические ожидания показателя. На дальнейших этапах проектирования используются показатели периодичности, которые необходимо обеспечить с заданной доверительной вероятностью.

5. С увеличением максимального угла отклонения оптической оси ОЭТК от надира, при прочих равных условиях, среднее значение показателя периодичности уменьшается, то же происходит и с увеличением высоты орбиты.

6. С увеличением географической широты объекта наблюдения показатель периодичности уменьшается.

Библиографический список

1. Лебедев, А.А. Основы синтеза систем летательных аппаратов. 2-е изд., доп. и перераб. [Текст] / А.А. Лебедев, Г.Г. Аджимамудов, В.Н. Баранов [и др.]. – М.: Изд-во МАИ, 1996. – 444 с.

2. Красильщиков, М.Н. Спутниковые системы мониторинга. Анализ, синтез и управление [Текст] / М.Н. Красильщиков, В.Т. Бобронников и др.; под ред. В.В. Малышева. – М.: Изд-во МАИ, 2000. – 568 с.

3. Куренков, В.И. Основы устройства и моделирования целевого функционирования космических аппаратов наблюдения: учеб. пособие [Текст] / В.И. Куренков, В.В. Салмин, Б.А. Абрамов. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2006. – 296 с.