

## Метод расчета параметров эффективного размещения точек базирования беспилотных летательных аппаратов в рамках системы дистанционного зондирования Земли

© В.В. Зеленцов<sup>1</sup>, А.С. Свиридов<sup>2</sup>, Л.А. Шаповалов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

<sup>2</sup>ОАО «ВПК «НПО машиностроения», г. Реутов Московской обл., 143966, Россия

*В рамках определения облика системы дистанционного зондирования Земли рассмотрена задача эффективного размещения точек базирования беспилотных летательных аппаратов и расчета их числа в каждой точке базирования с целью достижения заданного уровня непрерывности или избыточности наблюдения. Приведены критерии эффективности функционирования системы и метод проверки его адекватности, для чего описан метод расчета коэффициента наблюдательности.*

**Ключевые слова:** размещение, точка базирования, беспилотный летательный аппарат, эффективность, дистанционное зондирование Земли.

**Введение.** В современном мире повышается значение мониторинга земной поверхности, что неразрывно связано с улучшением количественных и качественных характеристик инфраструктуры экономики страны, а также с постоянной потребностью в оптимизации этих характеристик. Оптимизация возможна только при накоплении структурированного высокоинформативного материала. Спектр задач, для решения которых актуален мониторинг земной поверхности, чрезвычайно широк. Задачи, решаемые с помощью дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), можно условно разделить на три группы:

- постоянные наблюдения за состоянием трасс энергоносителей, кадастровые задачи, обновление картографических фондов, мониторинг метеообстановки и т.д.;
- сезонные — контроль ледовой обстановки, сельскохозяйственные задачи, сезонные чрезвычайные ситуации (паводки, лесные пожары) и т.д.;
- эпизодические — мониторинг районов стихийных бедствий, задачи ретрансляции в интересах МЧС России и т.д.

В настоящее время задачи мониторинга решают многие корпорации, в том числе ОАО «ВПК «НПО машиностроения». В 2009 — 2011 гг. на предприятии проведены научные исследования по определению облика и рационального состава комплекса средств для мониторинга территории РФ. В результате исследований сформирован облик системы, состоящей из двух сегментов: космического и авиационного. Такая система аккумулирует достоинства воздушного и космического способов ДЗЗ, нивелируя их недостатки.

Начальный этап формирования облика авиационного сегмента системы ДЗЗ связан с необходимостью синтезирования технического облика летательного аппарата (ЛА) с позиций не только его эффективности как отдельного объекта, но и его функционирования в составе как авиационного сегмента, так и системы ДЗЗ. На стадии концептуального проектирования возникает сложная задача структурно-параметрического синтеза одновременно на нескольких уровнях функционирования системы и ее объектов. В связи с ограничениями времени на проведение исследовательской работы используемые и разрабатываемые математические модели должны быть согласованы по сложности.

В данной статье приводятся результаты исследований по созданию математической модели и метода, позволяющего на начальном этапе формирования облика системы ДЗЗ выработать структуру авиационного сегмента и оценить возможности комплекса, обеспечивающего покрытие территории РФ зоной непрерывного наблюдения.

**Постановка задачи и основные термины.** Для определения параметров размещения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для наблюдения за территорией РФ в составе многоуровневой авиационно-космической системы (МАКС) ДЗЗ необходимо установить рациональный состав возможных точек их базирования БПЛА, выбрать основные параметры аппаратов, сформировать варианты размещения БПЛА в некоторых точках базирования и оценить эффективность того или иного варианта их размещения. Для этого формируют необходимый терминологический аппарат, вводят описание параметров синтезируемой системы, строят математическую модель для вычисления критерия эффективности действия системы. Математическая модель содержит допущения, описание основных исходных данных, формулы для вычисления главных параметров системы, средства визуализации расчетных данных, с ее помощью можно проводить отбор вариантов размещения по заданному критерию эффективности и его проверку на адекватность задаче.

В соответствии с подходами практической методологии для корректного описания математической модели необходимо ввести следующие термины [1]:

*точка базирования (ТБ)* – точка земной поверхности с определенными географическими координатами. В этой точке производится пуск и приземление БПЛА;

*радиус наблюдения (действия)* – максимальное удаление БПЛА от точки его базирования при условии возможности возвращения в нее. Радиус наблюдения зависит от максимальной продолжительности полета БПЛА и его крейсерской скорости;

*полетный цикл* – сумма максимально возможного времени, которое БПЛА может находиться в воздухе, и минимального времени проведения регламентных работ после его посадки (заправка, аэродромное обслуживание и проч.);

*зона наблюдения* – часть земной поверхности с заранее известными границами;

*точка наблюдения* – любая точка с известными координатами, принадлежащая зоне наблюдения;

*коэффициент наблюдаемости* (наблюдаемость)  $k_N$  — отношение суммарного времени дислокации одного или нескольких БПЛА в каждой конкретной точке наблюдения к продолжительности полетного цикла. Если  $k_N \geq 1$  – точка наблюдается непрерывно, если  $k_N = 0$  — точка не наблюдается;

*коэффициент ценности* (для точки наблюдения) — численный параметр, характеризующий потребность в наблюдении для каждой точки зоны наблюдения;

*относительная площадь наблюдения*  $S_{\text{отн. } k_N \geq [k_N]}$  — часть зоны наблюдения, для которой реализован определенный уровень  $k_N$ , вычисляется с учетом коэффициента ценности точки наблюдения путем умножения каждого элемента площади на соответствующий коэффициент;

*заданный коэффициент наблюдаемости*  $[k_N]$  – нижнее ограничение для  $k_N$  определяющий параметр для вычисления относительной площади наблюдения;

*МАКС ДЗЗ* — интегрированная система мониторинга, состоящая из двух сегментов: космического (высокая производительность) и авиационного (высокое разрешение и оперативность наблюдения).

Система БПЛА, размещенных в ТБ, характеризуется следующими параметрами:

ТБ — координатами и количеством БПЛА в каждой ТБ, возможностью перелета из одной точки в другую;

БПЛА — максимальной продолжительностью полета, крейсерской скоростью, минимальным временем проведения регламентных работ, технической надежностью;

зона наблюдения — коэффициентом наблюдаемости, относительной площадью наблюдения, надежностью наблюдаемости, ценностью точки наблюдения, ее принадлежностью к перечню приоритетных точек наблюдения.

Критическими параметрами системы являются:

- относительная площадь наблюдения с  $k_N \geq [k_N]$ ;
- количество ТБ.

Для расчета БПЛА задаемся константами:

- максимальная продолжительность полета;
- крейсерская скорость;
- минимальное время проведения регламентных работ;
- техническая надежность БПЛА.

Введем ограничения по параметрам:

- $k_N \geq [k_N]$
- количество БПЛА в ТБ;
- максимальная надежность реализации  $k_N > 0$ ;
- минимальная надежность реализации  $k_N < 0$ ;
- реализуемость перелета БПЛА между ТБ;
- координаты приоритетных точек наблюдения.

Критерий эффективности функционирования системы определяем следующим образом [2]:

$$E = \frac{S_{\text{отн. } k_N \geq [k_N]}}{i}, \quad (1)$$

где  $S_{\text{отн. } k_N \geq [k_N]}$  — относительная площадь наблюдения с  $k_N \geq [k_N]$ ,  
 $i$  — общее количество ТБ.

**Определение рационального количества ТБ и БПЛА МАКС ДЗЗ.** Существенными допущениями расчетной модели являются:

- сведение *площади* наблюдения к *точке* наблюдения. БПЛА движется из ТБ в точку наблюдения кратчайшим путем, находится в этой точке максимально возможное время, после чего движется обратно на ТБ;

- отсутствие учета маневрирования БПЛА;
- отсутствие крейсерования между точками наблюдения;
- отсутствие поправок на ветер и погодные условия;
- радиус действия БПЛА ограничивается только максимальной продолжительностью полета БПЛА и его крейсерской скоростью.

Параметры, приведенные ниже, характерны для БПЛА среднего класса. Российскими БПЛА с аналогичными параметрами являются: «Иркут-200», «Дозор-3», «Аист», «Иркут-850» и др.

### Параметры БПЛА

Максимальная продолжительность полета, ч .....	12
Крейсерская скорость, км/ч .....	200
Минимальное время проведения регламентных работ, ч .....	2
Техническая надежность БПЛА, б/р .....	0,97

Данные по этим аппаратам представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Параметры БПЛА среднего класса**

Название БПЛА	Продолжительность полета, ч	Крейсерская скорость, км/ч	Взлетная масса, кг
Иркут-200	12	140 — 210	200
Дозор-3	16	120 — 150	450
Аист	12	130 — 250	500 — 550
Иркут-850	12	165 — 270	860

**Точки базирования.** Выбор каждой точки определяется наличием и размером взлетно-посадочной полосы, развитием инфраструктуры в данном конкретном городе, равномерностью покрытия территории РФ зонами действия БПЛА, а также потребностью территории в наблюдении. Потребность в наблюдении той или иной точки определяется в соответствии с основным классом задач, решаемых системой с БПЛА:

- мониторинг чрезвычайных ситуаций и их последствий, поиск пострадавших и доставка груза;
- дистанционный контроль нефтегазопроводов и хранилищ, ЛЭП и теплотрасс, железных и автомобильных дорог, лесных массивов и сельскохозяйственных угодий;
  - патрулирование сухопутных и морских границ;
  - геофизические исследования;
  - вскрытие ледовой обстановки;
  - геологоразведка;
  - цифровая картография;
  - производственно-экологический мониторинг;
  - охрана объектов и районов;
  - ретрансляция и т.д.

Территорию РФ образуют три региона — Европейская часть, Сибирь и Дальний Восток. Ниже рассмотрены различные варианты размещения ТБ в каждом из регионов. Для справки приведена карта России с указанием федеральных округов (ФО). К европейскому региону относятся Северо-Западный, Центральный, Южный, Северо-Кавказский и Приволжский федеральные округа, к сибирскому —

Уральский и Сибирский федеральные округа, дальневосточный регион включает одноименный федеральный округ (рис. 1).

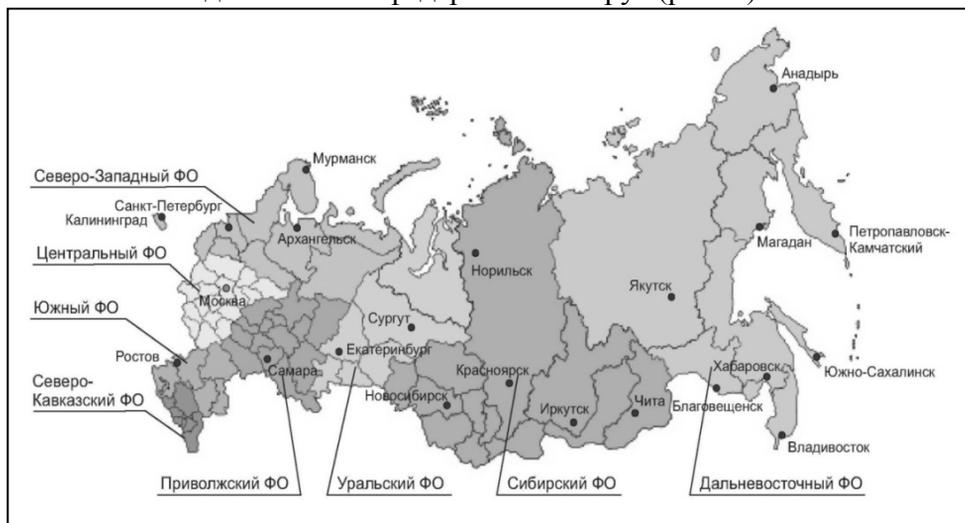


Рис. 1. Карта федеральных округов РФ

*Европейская часть России.* Необходимость иметь ТБ в Калининградской области представляется сомнительной. Зона ее ответственности распространяется на саму Калининградскую область и морские акватории Балтийского моря, но не на остальную Европейскую часть России. Поэтому вклад данной ТБ БПЛА в показатели наблюдения не будет учитываться. Для мониторинга этой области следует использовать БПЛА легких классов.

**Кроме Калининграда, ТБ Европейской части РФ могут быть размещены в следующих городах:**

- Ростов-на-Дону (зона ответственности — Северо-Кавказский, Южный, частично Центральный и Приволжский федеральные округа, прилегающие акватории Черного и Каспийского морей);
- Москва (Подмосковье) (зона ответственности — Центральный, частично Приволжский и Северо-Западный федеральные округа);
- Санкт-Петербург (зона ответственности — частично Северо-Западный и Центральный федеральные округа, прилегающие акватории Балтийского и Белого морей);
- Архангельск (зона ответственности — Северо-Западный (без Новой Земли), частично Центральный и Приволжский федеральные округа, акватории Белого и частично Баренцева морей);
- Самара (зона ответственности — Приволжский, частично Центральный, Южный и Уральский федеральные округа);

- Мурманск (зона ответственности — Северо-Западный (частично с Новой Землей) федеральный округ, акватории Белого и Баренцева морей).

*Сибирь.* В первую очередь наблюдаться должны южные районы Сибири, приграничные зоны. Эти зоны относительно густо населены, здесь расположено много промышленных объектов.

**ТБ Сибири могут быть размещены в городах:**

- Екатеринбург (зона ответственности — южная и центральная части Уральского, частично Приволжский федеральный округ);
- Новосибирск (зона ответственности — юго-западная часть Сибирского федерального округа);
- Иркутск (зона ответственности — южная часть Сибирского федерального округа);
- Чита (зона ответственности — юго-восточная часть Сибирского федерального округа);
- Норильск (зона ответственности — центральная и северная части Сибирского федерального округа, часть акватории Карского моря);
- Сургут (зона ответственности — центральная часть Уральского и западная часть Сибирского федерального округа);
- Красноярск (зона ответственности — южная и центральная части Сибирского федерального округа).

*Дальний Восток.* Главной задачей здесь является наблюдение приграничных зон, прибрежных территорий и промысловых морских акваторий.

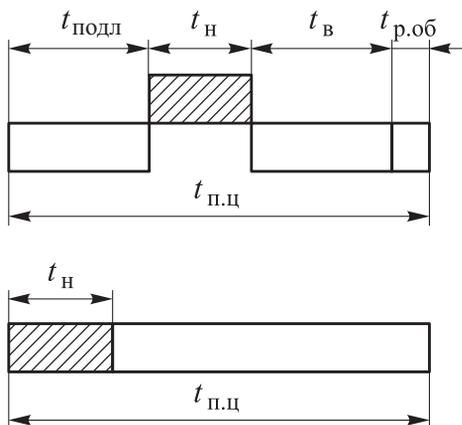
**ТБ Дальнего Востока могут быть размещены в городах:**

- Хабаровск (зона ответственности — южная и юго-западная часть дальневосточного федерального округа, акватории Японского и Охотского морей);
- Южно-Сахалинск (зона ответственности — Сахалин, Курильские острова, южные акватории Охотского моря);
- Петропавловск-Камчатский (зона ответственности — п-ов Камчатка, северное побережье и северные акватории Охотского моря);
- Анадырь (зона ответственности — восточная часть Дальневосточного федерального округа, акватории Берингова, Чукотского и Восточно-Сибирского морей);
- Якутск (зона ответственности — западная и центральная части Дальневосточного федерального округа);
- Благовещенск (зона ответственности — юго-западная часть Дальневосточного федерального округа);
- Владивосток (зона ответственности — южная часть Дальневосточного федерального округа, акватории Японского моря);

- Магадан (зона ответственности — побережье и акватории Охотского моря);
- Благовещенск (зона ответственности — юго-западная часть Дальневосточного федерального округа).

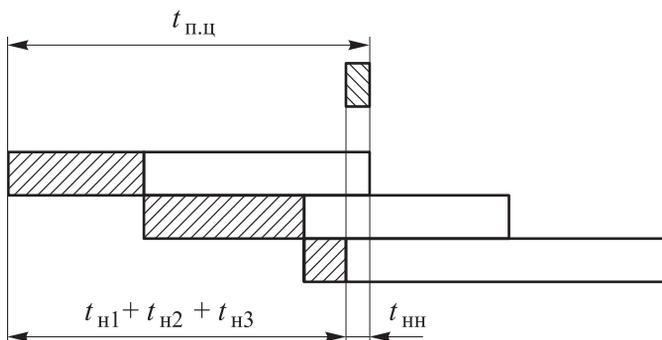
Количество БПЛА в каждой точке базирования может изменяться в соответствии с той или иной необходимой величиной наблюдаемости. Как показывают расчеты коэффициента наблюдаемости, рациональное количество БПЛА в каждой точке базирования — две единицы.

**Коэффициент наблюдаемости.** Данный показатель представляет собой отношение суммарного времени дислокации одного или нескольких БПЛА в каждой конкретной точке зоны наблюдения к времени полетного цикла. Графическая интерпретация коэффициента наблюдаемости представлена на рис. 2 и 3.:



**Рис. 2.** Распределение времени полетного цикла:

$t_{\text{подл}}$ ,  $t_{\text{н}}$ ,  $t_{\text{в}}$ ,  $t_{\text{р-об}}$ ,  $t_{\text{п.ц}}$  — время подлета, наблюдения возврата, регламентного обслуживания, полетного цикла соответственно



**Рис. 3.** Суммирование времени наблюдения:

$t_{\text{нн}}$  — время ненаблюдения

Из рис. 2 и 3 следует, что величина пробелов по времени наблюдения может быть разбита на части в количестве, соответствующем

числу аппаратов, которые участвуют в обеспечении заданного уровня наблюдаемости в данной точке.

Символьно, безразмерный коэффициент наблюдаемости может быть представлен формулой

$$k_N = \frac{\sum t_n}{t_{н.ц}} = \frac{\sum (m_i K_{D_i} t_n)}{t_n + t_{подг}}, \quad (2)$$

где  $m_i$  — число пригодных для выполнения задачи БПЛА в  $i$ -й ТБ;  $K_{D_i}$  — безразмерный коэффициент доступности в  $i$ -й точке зоны наблюдения,  $K_{D_i} = \frac{t_n}{t_n}$ ;

Полетный цикл

$$t_{п.ц} = t_n + t_{подг} = t_n + 2t_{подл} + t_{подг},$$

где  $t_{подг}$  — регламентное время межполетного обслуживания и подготовки к вылету;  $t_n$  — время полета.

На карте РФ в цилиндрических координатах изолинии  $k_N$  представляют в виде замкнутых линий, построенных в соответствии со следующей формулой:

$$2 \left( \frac{R_3}{R_{БПЛА}} \right)^2 (1 - \cos(\phi_{ТБ i}) \cos(\phi) \cos(\lambda_{ТБ i} - \lambda) - \sin(\phi_{ТБ i}) \sin(\phi)), \quad (3)$$

где  $\lambda_{ТБ i}$  и  $\phi_{ТБ i}$  — широта и долгота  $i$ -й ТБ,  $R_{БПЛА}$  — радиус действия БПЛА,  $R_3$  — средний радиус Земли.

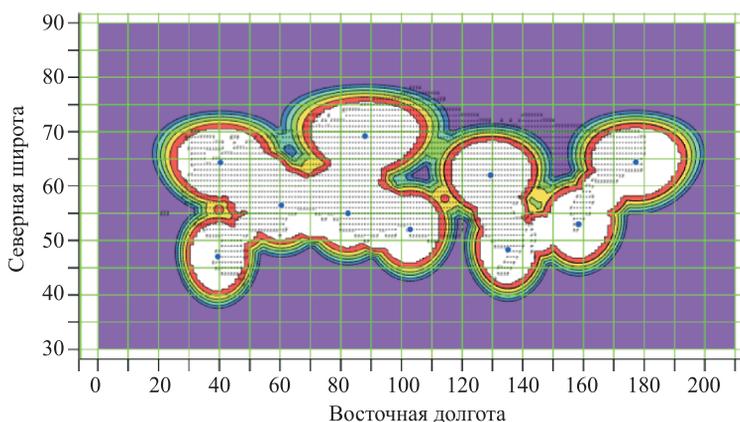
Максимальная наблюдаемость для отдельной ТБ и одного БПЛА всегда меньше единицы в силу отличия от нуля времени регламентного обслуживания БПЛА.

**Перекрытие радиусов наблюдения.** Ступенчатая трехмерная функция наблюдаемости служит для расчета количества перекрытий радиусов наблюдения для ТБ. Данная функция позволяет оценить, сколько БПЛА вносят свой вклад в реализацию коэффициента наблюдаемости. Учитывая количество перекрытий радиусов действия и БПЛА на ТБ можно сделать вывод о минимальной технической надежности наблюдения. Для этого используют формулу вероятности для последовательной цепи событий  $1 - (1 - q_{тех})^{m_i}$ , где  $q_{тех}$  — техническая надежность БПЛА,  $m_i$  — количество БПЛА, пригодных к выполнению задачи в данной точке.

Аналогичная ступенчатая трехмерная функция — функция перелета на максимальную дальность — позволяет сделать вывод о возможностях системы в перебазировании БПЛА без привлечения транспортной авиации. Координата по вертикальной оси показывает, сколько БПЛА могут совершить перелет в данную точку. Графику данной функции аналогичен график, представленный на рис. 6.

**Зона наблюдения.** Территория РФ представляется в виде матрицы координат с постоянным шагом в  $1^\circ$  на строку/столбец (рис. 4). Данный шаг разбиения является целесообразным с учетом ограниченного вычислительного ресурса техники и не вносит существенных погрешностей в расчетную модель.

В рамках расчетной модели производят визуальную оценку реализации заданного коэффициента наблюдаемости для зоны наблюдения.



**Рис. 4.** Расчетные точки зоны наблюдения, поверхность суммарной наблюдаемости

В соответствии с основным классом задач, решаемых системой БПЛА, вводят понятие «ценность точки наблюдения» и соответствующие коэффициенты ценности  $k_{ц}$ , влияющие на значение критерия эффективности для того или иного варианта размещения.

Кроме того, вводят точки зоны наблюдения, обладающие повышенным приоритетом. Данное ограничение позволяет существенно повысить адекватность расчетной модели.

Параметр, позволяющий оценить степень покрытия зоны наблюдения заданным коэффициентом наблюдаемости — относительная площадь наблюдения. В его значение вносит вклад ценность каждой конкретной точки наблюдения (путем умножения значения ячейки сетки на соответствующий коэффициент).

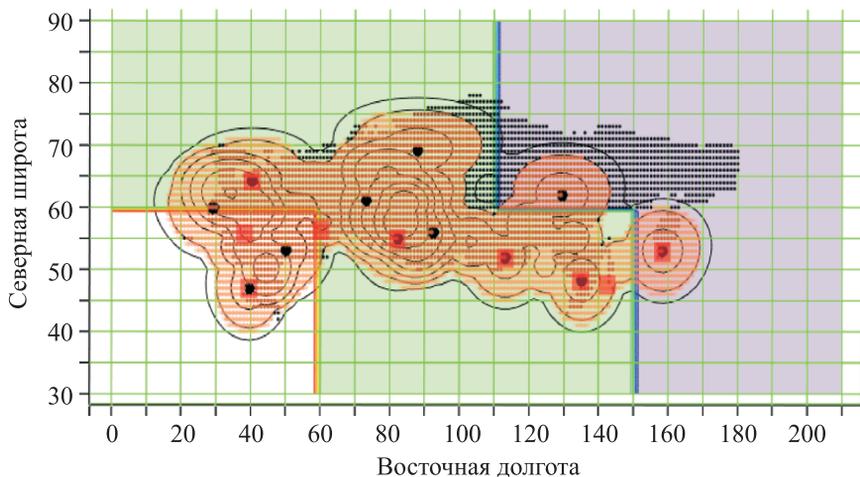
**Критерий эффективности функционирования системы.** Для каждого варианта размещения БПЛА (в соответствии с ограничениями) вычисляют значение критерия эффективности [3]:

$$E = \frac{S_{\text{отн. } k_N \geq [k_N]}}{i} IND, \quad (4)$$

где  $S_{\text{отн. } k_N \geq [k_N]}$  — относительная площадь наблюдения с  $k_N \geq [k_N]$ ;  $IND$  — индикатор (0 или 1), показывающий выполнение ограничения по приоритетным точкам наблюдения.

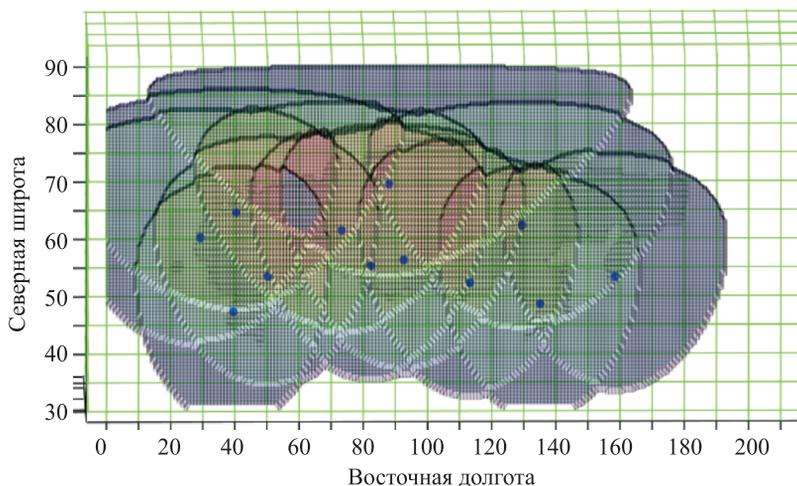
Этот критерий в полной мере описывает степень принадлежности заданной системы кластеру эффективных систем. Для удобства графического отображения результат расчета по формуле (4) умножают на  $10^3$ .

Итоговые расчетные данные оформляют в виде изображения, дающего визуальное представление о критических параметрах и ограничениях данной модели (рис. 5), где закрашенная зона — зона наблюдения с  $k_N \geq [k_N]$ , изолинии — границы зоны с  $k_N > 0$ ; горизонтальными и вертикальными линиями отделены зоны с различной ценностью наблюдения (слева направо:  $k_{ц} = 2$ ,  $k_{ц} = 1,5$ ,  $k_{ц} = 1$ ).



**Рис. 5.** Визуализация данных расчета оптимального варианта:

● — ТБ; ■ — приоритетные точки наблюдения возможности перелета БПЛА представляют в виде поверхности (рис. 6), позволяющей визуально проконтролировать выполнение данного ограничения



**Рис. 6.** Диаграмма перелета на максимальную дальность

В табл. 2 представлены параметры оптимального варианта размещения из 10 000 случайных вариантов размещения.

Таблица 2

## Оптимальный вариант размещения БПЛА в ТБ

№ п/п	Точка базирования		Количество БПЛА
1	Европейская часть РФ	Москва	0
2		Санкт-Петербург	2
3		Калининград	0
4		Ростов	2
5		Архангельск	2
6		Самара	2
7		Мурманск	0
8	Сибирь	Екатеринбург	0
9		Чита	2
10		Норильск	2
11		Новосибирск	2
12		Иркутск	0
13		Сургут	2
14		Красноярск	2
15	Дальний Восток	Якутск	2
16		Хабаровск	2
17		Южно-Сахалинск	0
18		Анадырь	0
19		Петропавловск-Камчатский	2
20		Владивосток	0
21		Благовещенск	0
22		Магадан	0
Суммарное число ТБ			12
Суммарное число БПЛА			24
Значение критерия эффективности			90,968
Надежность реализации $kN > 0$			0,74 ... 0,97

**Проверка адекватности критерия эффективности.** Важный этап отладки расчетного метода — проверка его адекватности, т.е. степени соответствия модели представлениям о действительности. Данный этап, как и оценка эффективности в целом, слабо поддается формализации. Фактически проверка адекватности метода состоит из нескольких этапов:

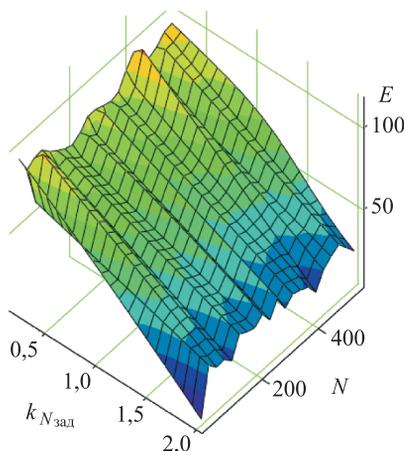
- *проверка логики причинно-следственных связей метода.* Ключевым фактором в рамках данного этапа можно назвать «прозрач-

ность» метода. Под прозрачностью понимают скорость восстановления причинно-следственных связей. Это — объективный комплексный фактор, который состоит в наличии или отсутствии комментариев, ссылок на источники информации, наглядности иллюстраций, а также в форме и последовательности изложения материала и т.д. Прозрачность можно условно назвать объективным фактором;

- *сравнение результатов, полученных с помощью метода с результатами собственной когнитивной практики.* Ключевым фактором здесь можно назвать «ясность». Под этим термином понимают субъективную степень понимания излагаемого, в рамках метода, материала. Ясность можно условно назвать субъективным фактором.

Применительно к данной конкретной задаче для проверки адекватности критерия эффективности введен наглядный иллюстративный материал, а также данные, полученные варьированием параметров, входящих в формулу критерия эффективности.

На рис. 7 представлена поверхность значений критерия эффективности для различных вариантов размещения с учетом варьирования ограничения  $[k_N]$ . Видно, что в диапазоне заданной наблюдаемости 0,2...2 сужение рамок допустимого уровня наблюдаемости ведет к снижению критерия эффективности, и наоборот.



**Рис. 7.** Варьирование  $[k_N]$ :  $kN_{зад} \equiv [k_N]$ ,  $N$  — порядковый номер варианта размещения;  $E$  — критерий эффективности

**Заключение.** Представленный метод позволяет оценить необходимое количество БПЛА и ТБ в целях решения широкого класса задач ДЗЗ. Границами применимости данного метода являются ограничения и допущения, указанные выше, а также границы вычислительных ресурсов техники.

Применение метода к задаче определения числа БПЛА и размещения ТБ в рамках МАКС ДЗЗ позволило получить спектр вариантов размещения, отвечающих выбранному критерию эффективности

функционирования системы и ее ограничениям. Полученные результаты представлены в виде таблиц и графиков, произведена оценка адекватности разработанного метода.

В полученном полном решении поставленной задачи не вполне корректным, на наш взгляд, является ограничение, описывающее возможности системы в части перебазирования БПЛА, так как полное решение этой задачи представляет собой сложную задачу из области теории граф. С целью компенсации данного пробела введен инструментарий для простой визуальной оценки возможностей перебазирования.

В рамках развития метода возможно расширение заложенных допущений, например, учет курсирования БПЛА между точками наблюдения, введение учета метеорологических условий, расширение «точки наблюдения» до «области наблюдения», варьирование типа БПЛА по скорости и продолжительности полета и др.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Егер С.М., Лисейцев Н.К., Самойлович О.С. *Основы автоматизированного проектирования самолетов*: учеб. пособие для студентов авиационных специальностей вузов. Москва, Машиностроение, 1986, 232 с.
- [2] Горбунов В.А. *Эффективность обнаружения целей*. М. Воениздат, 1979, 160 с.
- [3] Струченков В.И. *Методы оптимизации в прикладных задачах*. Москва, Солон — пресс, 2009, 320 с.

Статья поступила в редакцию 25.03.2013 г.

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Зеленцов В.В., Свиридов А.С., Шаповалов Л.А. Метод расчета параметров эффективного размещения точек базирования беспилотных летательных аппаратов в рамках системы дистанционного зондирования Земли. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2014, вып. 1. URL: <http://engjournal.ru/catalog/machin/rocket/1173.html>

**Зеленцов Владимир Викторович** родился в 1933 г., окончил МВТУ им. Н.Э. Баумана в 1957 г. Канд. техн. наук, доцент кафедры «Аэрокосмические системы» МГТУ им. Баумана. Автор более 40 публикаций в области проектирования летательных аппаратов.

**Свиридов Антон Сергеевич** родился в 1983 г., окончил МГТУ им. Н.Э. Баумана в 2006 г. Инженер-конструктор 1-й категории «НПО машиностроение». Автор трех публикаций в области дистанционного зондирования Земли.

**Шаповалов Лев Александрович** родился в 1986 г., окончил МГТУ им. Н.Э. Баумана в 2009 г. Аспирант кафедры «Аэрокосмические системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор восьми публикаций в области проектирования летательных аппаратов.