

**МЕТОДЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ ГЕОСТАЦИОНАРНЫХ СПУТНИКОВ  
ПО ФОТОМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ.**

*Диденко А.В., Усольцева Л.А.*

**Резюме**

*Рассмотрены различные методы решения проблемы идентификации геостационарных спутников (ГСС) по некоординатной информации. Показана возможность их использования для отождествления типа объекта.*

**Введение**

Ближний космос интенсивно эксплуатируется практически всеми странами. Общее количество постоянно сопровождаемых объектов сравнительно невелико, при этом объем банков данных уменьшается по мере возрастания высоты орбит [1-4].

Основной объем необходимой информации о ГСС поставляют наземные пункты наблюдений (ПН), оснащенные оптико-электронными средствами. Эффективность их работы зависит от многих причин [5], но процесс получения и обработки информации существенно облегчается, если на ПН есть каталог ИСЗ, основанный на собственных наблюдениях. Каталог позволяет оперативно прогнозировать состояние контролируемой зоны на нужные моменты наблюдений и существенно упрощает саму процедуру наблюдений, т.к. в большинстве случаев для известных и давно сопровождаемых объектов необходимо лишь подтверждение их присутствия, что существенно сокращает затраты наблюдательного времени.

Наличие собственной базы данных дает возможность надежно выделять новые объекты и фактически с момента их обнаружения в полном объеме получать необходимую координатную информацию. Одновременное использование координатной и некоординатной информации позволяет ответить на вопрос, какой объект сопровождается: вновь запущенный или уже наблюдавшийся, но переведенный из одной точки стояния в другую? Довольно часто неверный ответ на этот вопрос приводит к

появлению в каталоге "ложных" объектов.

Известно, что идентификация космических объектов (КО) на околоземных орбитах - непростая задача, далеко не всегда имеющая однозначное решение. С ней так или иначе сталкиваются все наблюдатели, и она является основополагающей при создании любого каталога КО. Идентификация осложнена еще и тем, что отдельные орбиты, особенно геостационарные, имеют довольно высокую плотность "населения", среди которого присутствуют и маневрирующие аппараты.

Некоторые авторы идентифицируют объекты на основе координатной информации, (см., например, [6,24]), другие привлекают для этих целей некоординатную информацию, [7,8]. В данной статье мы сделали попытку обобщить те методы, которые используются при идентификации ГСС по фотометрической информации и на примере работ, проводимых в Лаборатории наблюдений ИСЗ Астрофизического института (АФИ) НАН РК, показать их применимость.

Электрофотометрические наблюдения ГСС в АФИ проводятся с 1979 года. Методика позиционных и фотометрических наблюдений подробно изложена в работах [5,7,8] и не претерпела за последнее время принципиальных изменений. Поэтому остановимся здесь лишь на основных моментах, которые положены в основу формирования фотометрической базы данных.

Известно, что важным условием пригодности фотометрического материала является его однородность. Поэтому

для стандартизации блеска ГСС был создан сводный каталог фотометрических стандартов [5], расположенных в основных зонах движения геостационарных спутников по небесной сфере. В каталог были включены звезды, имеющие абсолютную калибровку распределения энергии [9]. Это позволяет периодически калибровать приемно-регистрирующий канал, осуществлять энергетическую привязку определяемых параметров и осуществлять их корректное временное сравнение, в том числе, и с результатами, полученными другими авторами.

Фотометрическая база данных, которая начала формироваться в начале 80-х годов, и сопутствующее программное обеспечение постоянно пополняются и совершенствуются в соответствии с настоящими требованиями. В настоящее время в базе содержится информация о 129 объектах, большая часть которых наблюдалась на протяжении 5-10 лет. Среди них присутствуют все основные типы космических аппаратов, и они достаточно репрезентативны по отношению ко всей совокупности ГСС.

Создание зонального каталога ГСС - одна из первых успешных работ, основанных на совместном анализе координатной и фотометрической информации. В процессе формирования каталога была разработан комплекс программ, позволяющих по совокупности фотометрической и координатной информации с высокой степенью достоверности проводить:

- определение ориентации объекта и его динамических параметров (периода вращения вокруг собственного центра масс, направление оси вращения);
- оценку типа его стабилизации;
- расчет физических параметров ГСС и его отдельных элементов (эффективной отражающей площади, относительных коэффициентов отражения и характера их изменения в зависимости от времени пребывания объекта на орбите);
- построение эквивалентного геометрического образа;

- идентификацию типа ГСС с последующим присвоением объекту международного номера.

Рассмотрим принципы, которые были положены в основу решения перечисленных задач.

**1. Анализ зависимости фотометрических характеристик от пространственной ориентации и конструктивных особенностей КО.**

Подробный перечень факторов, определяющих блеск КО, и методов их учета проведен в работах [5,10]. Остановимся на анализе характера поведения блеска ИСЗ и способах определения его индивидуальных характеристик.

Величина светового потока, отраженного от спутника в диапазоне длин, может быть представлена соотношением [12]:

$$E_{\lambda} = E_{\lambda}^{\ominus} \frac{a_{\lambda} S F_{\lambda}(\varphi)}{d^2} p_{\lambda}^{M(z)} \quad (1),$$

где  $p_{\lambda}$  и  $M(z)$  - прозрачность атмосферы и её воздушная масса;  $E_{\lambda}^{\ominus}$  - монохроматическая освещенность КО Солнцем;  $d$  - топоцентрическое расстояние до объекта;  $a_{\lambda}$  - геометрическое альbedo объекта;  $S$  - площадь видимой части поверхности КО, освещенной Солнцем;  $F_{\lambda}(\varphi)$  - фазовая функция.

Выражение (1) включает в себя все составляющие видимого блеска КО кроме подсветки со стороны Земли и Луны. Первая определяется фазовым углом Земли по отношению к объекту и его высотой над поверхностью [10]. Подсветка со стороны Луны не вносит заметного вклада в блеск КО, однако в полнолуние и при малом лунном фазовом угле (т.е. угле Луна-объект-наблюдатель) отражение от затененных элементов конструкций, обладающих высокими отражательными способностями, может существенно исказить наблюдаемую фазовую кривую.

Очевидно, что такие параметры как  $a_{\lambda}$ ,  $S$  и  $F_{\lambda}(\varphi)$  определяются оптическими характеристиками покрытий, геометрией и пространственной ориентации-

ей ИСЗ. Значения этих величин индивидуальны и могут характеризовать наблюдаемый объект. Перечисленные параметры можно разделить на две группы: вычисляемые и непосредственно измеряемые в процессе наблюдений, при этом точность последних оказывает существенное влияние на определяемые параметры КО.

Вариации яркости отраженного от спутника светового потока могут быть обусловлены тремя причинами:

- собственным вращением КО вокруг центра масс и прецессией оси вращения;
- обращением КО вокруг Земли, или изменением положения объект - наблюдатель, приводящие к изменению фазового угла  $\varphi$  (угол между Солнцем - КО - наблюдателем);
- временными изменениями характеристик покрытий ИСЗ (старением покрытий).

При наличии в кривой блеска объекта зеркальных вспышек несложно определить его ориентацию [11]. Чтобы выявить скрытые периодичности, обусловленные вращением ИСЗ, на первом этапе имеет смысл вычислять спектр мощности наблюдаемого временного ряда методами, которые будут изложены ниже.

Для выделения на полученных кривых блеска участков, обусловленных разными элементами конструкции ГСС, необходимо использовать информацию, связанную с их цветовыми характеристиками и изменениями этих характеристик. [12].

При зеркальном отражении можно найти мгновенное направление нормали к отражающей поверхности КО, см. [13]. Но для того, чтобы определить его по диффузному отражению, надо знать зависимость величины отраженного потока от угла падения, полученную в лабораторных условиях для известных материалов покрытий КО [10], или для объекта простой известной формы.

После того, как период вращения и ориентация определены, можно вычислить величину геометрического альbedo [14] предполагая, что отражение солнеч-

ного света происходит по закону Ламберта.

Большая часть наблюдаемых ГСС относится к несамосветящимся в видимой и ближней ИК-области спектра объектам, поэтому величина отраженного от КО потока в значительной степени зависит от характеристик его покрытий, претерпевающих, в свою очередь, временные изменения под воздействием космического пространства. В видимой и ближней ИК-области спектра величина коэффициентов отражения для используемых материалов покрытия меняется от 0.1 до 1.0. Вследствие этого величина  $a_\lambda$  при одном и том же законе отражения может принимать значения от  $0^m.1$  до  $1^m.50$  [14].

При вычислении альbedo для известных КО необходимо также знать геометрические размеры объекта, а наблюдаемую яркость интерполировать на нулевую фазу. Вычисление блеска КО при нулевой фазе проводится только по диффузной составляющей отраженного светового потока.

Аналитические выражения фазовых функций для большинства простых стереометрических форм известны [15], но их практическое использование затруднено двумя основными причинами:

- при вычислении фазовых функций для объектов различных форм, не считая сферы, необходимо знать ориентацию КО в пространстве;
- поверхность большинства КО является совокупностью нескольких простых стереометрических форм.

## ***2. Об определенности задачи идентификации и роли априорной информации при её решении.***

При отсутствии априорных предположений строгое решение сформулированных выше задач в общем случае является неоднозначным или вообще неопределенным. Изначальная неоднозначность определения формы КО по кривой блеска связана со следующим принципиальным положением: на вход любого алгоритма, предназначенного для решения, как правило, поступает функция, зависящая от одного аргумента: блеск от фазы или блеск от времени. На выходе же мы

должны получить функцию формы, зависящую от двух аргументов. Решение задачи в такой постановке в общем случае не определено.

Данное утверждение касается объектов, имеющих трехосную стабилизацию. Сканирование поверхности таких ИСЗ достигается только за счет изменения фазового угла, т.е. связано с их движением вокруг Земли. Для ИСЗ, вращающихся вокруг центра масс, ситуация несколько иная, т. к. для них возможно разделение независимых аргументов на быструю и медленную составляющие. В этом случае блеск можно представить функцией  $F(t) = F(\varphi, \psi)$ , где  $\varphi$  играет роль медленной составляющей, а  $\psi = \omega t$  - угол поворота ИСЗ - быстрой составляющей, здесь  $\omega$  - угловая скорость вращения. В большинстве случаев такое разделение позволяет уменьшить неопределенность. Строгая формулировка соответствующих условий требует отдельного анализа. Поясним это на примерах.

а). Пусть объект представляет собой ламбертовскую пластину (т.е. пластину, отражающую свет по закону Ламберта), тогда:

$$dF \approx \cos \beta \cos \gamma dS,$$

где  $F$  - интенсивность отраженного света;  $\beta$ ,  $\gamma$  - соответственно углы падения и отражения,  $dS$  - элемент площади.

Если пластина ориентирована на Солнце и другие источники света отсутствуют, то кривая блеска определяется формулой [15]:

$$F(\varphi) = F_0 \cos \varphi,$$

где  $F(\varphi)$  - нормированный блеск объекта,  $\varphi$  - фазовый угол,  $F_0$  - постоянная, равная максимальному нормированному блеску. Аналогичная зависимость получится, если пластина будет постоянно ориентирована на Солнце, а не на наблюдателя, т.е. в данном случае ориентация объекта не может быть однозначно определена. Кроме того, зная альбедо пластины, можно по кривой ее блеска определить суммарную площадь, но определить форму нельзя.

б). Для ламбертовского шара кривая блеска имеет вид [15]:

$$F(\varphi) = F_0 \frac{(\pi - \varphi) \cos \varphi + \sin \varphi}{\pi}.$$

Аналогичную зависимость дает и любое тело вращения, если его ось симметрии на всем интервале наблюдений ортогональна плоскости "наблюдатель - спутник - Солнце". Следовательно, и в данном случае ничего нельзя сказать о его форме кроме того, что оно представляет собой тело вращения. Причина неопределенности здесь очевидна: эффект вращения не несет в себе никакой дополнительной информации, т.к. быстрая и медленная составляющие измеряются в одной и той же плоскости, и формально являются зависимыми. Если в примере б) ось вращения спутника ортогональна оси симметрии, то углы отсчитываются в ортогональных плоскостях и тогда по кривым блеска удастся отличить шар от цилиндра, а цилиндр от усеченного конуса.

Исходная неопределенность задачи означает, что множество или класс функций формы  $r(u, v)$ , порождающих конкретную кривую блеска, является неограниченным. Наличие любой, даже самой незначительной априорной информации, позволяет сузить этот класс до одной функции или до компактного множества. Тогда некорректная и неопределенная задача может стать корректной или, по крайней мере, определенной.

Такую дополнительную информацию могут дать наблюдения покрытия яркой звезды спутником (т.н. "теневого" метод) [16]. Сущность "теневого" метода заключается в регистрации изменений интенсивности света от звезды, покрываемой КО. Это дает возможность по двумерной дифракционной картине восстановить контур проекции КО на плоскость, перпендикулярную падающему свету. Согласно принципу Гюйгенса-Френеля каждая точка волнового фронта может быть принята за центр вторичного возмущения, приводящего к возникновению взаимно интерферирующих сферических волн. Используя волновое уравнение Гельмгольца, которое описывает вариации амплитуды вторичных волн как

функцию направления, можно восстановить профиль сечения КО.

**3. Методы решения задачи идентификации.**

В зависимости от объема и степени достоверности априорной информации для решения задач идентификации могут быть использованы:

- экспертные оценки,
- методы решения некорректных задач,
- методы теории распознавания образов.

На практике целесообразно использовать комбинации этих методов и оценок или их последовательное применение.

К этому можно также добавить принцип направленного обучения, который в нашем случае следует рассматривать не как метод решения, а как методологический принцип. Суть этого принципа вытекает из его названия. Пусть  $X$  - входная информация (кривая блеска, интуитивные соображения и т.д.),  $Y$  - выходная информация (результат решения),  $A$  - некоторый решающий оператор, позволяющий по  $X$  получать  $Y$ . Для задач, имеющих строгое решение, оператор  $A$  обычно неизменен. В методах направленного обучения каждая новая входная информация позволяет не только получить соответствующее решение, но и модифицирует в нужном направлении сам оператор  $A$ .

Такой подход, обеспечивающий внутреннюю самоорганизацию системы распознавания, в сущности, явно или неявно используется при решении любых новых проблем. В нашем случае одна из целей этого подхода - совершенствование методики в сторону ее формализации с тем, чтобы свести до минимума необходимость участия человека в процессе идентификации.

Экспертные оценки.

В условиях априорной неопределенности типичным является ситуация, когда значительная доля информации, которую содержат экспериментальные данные, трудно формализуема, т.е. не удается построить математический алгоритм, способный выделить эту информацию в чистом виде. В подобных случаях незаменимыми оказываются экспертные

оценки, под которыми мы понимаем заключения опытного эксперта об общем характере кривой блеска и причинах появления на ней тех или иных особенностей. Иногда таким путем удается сконструировать некоторый "разумный" геометрический образ, близкий к истинной форме объекта.

Аналогичный подход полезен и в том случае, когда по имеющейся априорной информации невозможно построить оптимизирующий критерий, учитывающий эту информацию. Например, такие сведения, как известное функциональное назначение ИСЗ, трудно записать в виде математических формул. Тем не менее, основываясь на анализе кривой блеска, цветовых характеристиках КО и своем опыте, эксперт может высказать предположение о форме, материалах покрытий конструктивных элементов и типе стабилизации данного ИСЗ.

Экспертные оценки - весьма универсальный инструмент, но из-за субъективности его нельзя рассматривать в качестве основного метода анализа, особенно если речь идет об автоматических системах распознавания. Поэтому в дальнейшем экспертные оценки могут использоваться либо как входная информация для других способов, либо как основа для совершенствования методики.

Методы решения некорректных задач.

Если объем исходной информации недостаточен, то задачу определения формы КО можно сформулировать в виде классической некорректной задачи [5, 17]:

$$F(\zeta, \eta) = \iint_{G(\zeta, \eta)} R(u, v) K(u, v, \zeta, \eta) dudv \quad (2)$$

где  $F$ - известный стандартизованный блеск,  $R$ - неизвестная функция формы, представленная, например комбинацией двух радиусов кривизны,  $K$  - известное ядро интегрального уравнения, определяемое законами отражения, рассеяния и другими факторами,  $G$ - область интегрирования.

Переменным  $\zeta$  и  $\eta$  могут соответствовать быстрая и медленная составляющие  $\varphi$  и  $\psi$ , либо другие наборы аргументов, выбор которых каждый раз может быть разным. Определив функцию  $R(u, v)$  мы можем в принципе найти форму  $r(u, v)$ . Чтобы решение данного уравнения было определено, необходимо знать блеск объекта на всем интервале изменения переменных  $\zeta$ ,  $\eta$ , например, при  $0^\circ \leq \zeta \leq 360^\circ$ ,  $-90^\circ \leq \eta \leq 90^\circ$ . При этом сами эти переменные должны быть независимыми.

Рассмотрим некоторые типичные примеры.

а). Переменные  $\zeta$ ,  $\eta$  изменяются в ограниченных пределах, не охватывающих все возможные значения. В этом случае постоянно имеются невидимые или неосвещаемые участки поверхности. Для решения задачи можно прибегнуть к процедуре аналитического продолжения, предполагая регулярность формы [18].

в). Объект не вращается, следовательно, фазовая кривая на суточном интервале зависит лишь от одного аргумента - фазового угла  $\varphi$ . При отсутствии другой информации приходится вводить искусственные ограничения. Например, явно задавать зависимость  $R(u, v)$  по одной из координат (или  $u$  или  $v$ ), в частности, искать решение для класса выпуклых тел вращения. Другой путь - параметризация формы, т. е.  $R(u, v)$  следует задать в виде набора функций нескольких простых форм со свободными параметрами. Во многих случаях такой подход оказывается наиболее приемлемым, а решение задачи сводится к поиску экстремума некоторой критической функции по небольшому числу параметров.

Наблюдения невращающегося объекта на протяжении многих его витков вокруг Земли также способствуют уменьшению неопределенности, т.к. в этом случае обычно проявляет себя вторая координата, связанная с изменением склонения Солнца и, фактически, задача может быть сведена к предыдущему пункту.

с) Объект вращается с небольшим периодом, причем период и направление оси вращения известны. Как уже отмечалось, в этом случае возможно разделение быстрой и медленной составляющей. Очевидно, что ситуация будет оптимальной, когда угол поворота  $\psi$  и фазовый угол  $\varphi$  отсчитываются во взаимно перпендикулярных плоскостях. Тем не менее, даже если эти плоскости совпадают, вращение КО позволяет просканировать его видимую поверхность за значительно меньшее время. Фактически, в этом случае определяющей будет зависимость  $F$  от  $\psi$ , и измерения блеска достаточно провести на протяжении нескольких периодов вращения.

д). Выше мы предполагали, что альbedo различных участков поверхности КО известно или, по крайней мере, постоянно. Однако в типичных условиях это не соблюдается, и тогда в уравнение (2) входят две неизвестные функции: форма КО и свойства материалов его покрытия. Неопределенность задачи увеличивается из-за того, что влияние этих факторов на блеск КО взаимосвязано: уменьшение альbedo может быть компенсировано увеличением площади соответствующих участков ИСЗ, и наоборот. Можно попытаться уменьшить неопределенность, используя результаты многоцветных наблюдений. В этом случае для каждого интервала длин волн следует записать уравнение, аналогичное (2). Совместное решение этих уравнений позволит разделить данные факторы [5]. Поскольку набор материалов покрытий ИСЗ достаточно ограничен, эта задача в принципе может быть сведена к их подбору.

Методы теории распознавания образов.

Предположим, что из совокупности реальных кривых блеска нам удалось получить универсальный набор признаков, которые характеризуют конкретный тип ИСЗ, т.е. его "паспорт". Для эффективного решения задачи идентификации желательно, чтобы эти признаки удовлетворяли следующим требованиям:

- они должны быть независимыми (в линейном приближении - ортогональными) и максимально информативными;

- их набор должен быть достаточно полным,  
- а количество - не слишком большим, и сами они должны быть инвариантными относительно преобразования координат и не зависеть от ориентации КО.

Для уверенного выделения из кривой блеска информативных признаков необходимо, чтобы она не содержала в себе влияние факторов, несвязанных с формой КО. В противном случае можно случайно выделить признак, не относящийся к объекту. Например, для исключения зависимости блеска от фазы целесообразно нормировать каждую кривую блеска на функцию ламбертовского шара. Сами признаки (например, фазовые градиенты) могут быть получены в результате экспертных оценок или на основе более формальных подходов (спектральный, корреляционный, регрессионный анализ и т.д.).

Рассмотрим некоторые методы теории распознавания образов.

*а). Построение ортогонального базиса.*

Если функция анализируется по полосе частот, то ее можно разложить в ряд Фурье и выбрать такое количество членов ряда, которое будет необходимо для ее представления с достаточной точностью. Так, в случае разложения в ряд Фурье кривой блеска коэффициенты этого ряда можно использовать в качестве паспорта КО. Не исключено, что разложение по другому базису позволит сократить количество коэффициентов без потери точности представления. Очевидно, что чем меньше требуемое число членов разложения для всех кривых блеска из заданного набора, тем лучше.

В работе [19] предлагается метод, позволяющий сконструировать систему ортогональных функций, специально приспособленную для аппроксимации заданного набора кривых блеска. Численные значения коэффициентов разложения по этим функциям могут служить одновременно и кодом данной кривой блеска, и, в линейном приближении, - паспортом ИСЗ. Суть метода заключена в следующем.

Пусть имеется  $N$  кривых блеска, каждая из них состоит не менее чем из 100 отсчетов. Тогда каждой кривой можно поставить в соответствие точку в 100-мерном пространстве (отсчеты играют роль координат точки). Проведем в этом пространстве 99-мерную гиперплоскость таким образом, чтобы проекции на неё всех точек имели минимальный (в смысле принятой метрики) разброс. Тогда 100-мерный единичный вектор, ортогональный данной гиперплоскости, явится первым базисным вектором. Поскольку наше пространство функционально, то этот же вектор определит и первую ортогональную функцию из оптимального набора.

Рассматривая таким же образом упомянутые 99-мерные проекции всех точек, построим 2-й вектор и вторую ортогональную функцию, далее 3-й, и т.д. до тех пор, пока все очередные проекции не попадут в некоторую область с заданным  $\varepsilon$ . Если окажется, что количество векторов  $m \ll 100$ , то анализируемую кривую можно с точностью  $\varepsilon$  задать  $m$  числами. Не исключено, что удастся приписать физический смысл полученным ортогональным функциям. Например, первая функция  $\Phi_1$  задает диффузное отражение от пластины, вторая -  $\Phi_2$  - зеркальное отражение, третья -  $\Phi_3$  - отражение от цилиндрической поверхности и т.д. Тогда нормированная кривая блеска будет представлена как:

$$\phi(\varphi) = C_1\phi_1(\varphi) + C_2\phi_2(\varphi) + \dots + C_m\phi_m(\varphi)$$

где совокупность  $C_1, C_2, \dots, C_m$  опре-

деляет паспорт объекта, а  $C_i$  - вклад в него  $i$ - формы.

При отладке изложенной методики имеет смысл использовать не реальные, а модельные кривые блеска. В случае недостаточной однородности исходного набора кривых блеска метод ортогонального базиса и предварительную нормировку следует применять отдельно для каждого типа объектов.

Рассмотренная схема анализа основана на статистике большого количества однородных фазовых кривых. Эта схема является линейной, хотя возможен учет

известных или предполагаемых нелинейных связей.

*б). Методы топологической динамики.*

Методы топологической динамики позволяют по одной реализации определить параметры, инвариантные относительно нелинейных преобразований координат в широких пределах, и не зависящие от ориентации ИСЗ. В основе этих методов лежат следующие представления. Предположим, что в каждый момент состояние КО можно описать несколькими параметрами, зависящими от времени. Тогда с объектом можно связать некоторое фазовое пространство, в котором координатами являются сами параметры. Далее, если объект находится в состоянии динамического равновесия, то в фазовом пространстве ему соответствует компактное геометрическое множество - аттрактор, к которому в конечном итоге "притягиваются" все фазовые траектории. Все особенности поведения КО так или иначе сказываются на геометрических и топологических свойствах аттрактора, следовательно, сами эти свойства можно выбрать в качестве паспорта ИСЗ.

Разработанные в настоящее время алгоритмы позволяют достаточно просто определить спектр размерности аттрактора и колмогоровскую энтропию на нем. Первый из них связан с числом степеней свободы и неоднородностью распределения фазовых точек, второй - со степенью хаотичности в поведении КО. Кроме того, методы топологической динамики дают возможность построить многомерный "фазовый портрет" ИСЗ, который сам по себе может служить характеристикой КО [20].

Алгоритмы вычисления перечисленных параметров основаны на сравнении и сортировке межточечных расстояний в фазовом пространстве, причем в качестве функции расстояния обычно берется евклидова или чебышевская норма.

Практическое использование этих алгоритмов может быть сопряжено с определенными трудностями, которые обсуждаются в работах [20,21]. Размерности и энтропия теоретически не зависят от конкретной функции расстояния, но на

практике результаты расчетов сильно зависят от выбора функции. Это связано с тем, что мы не имеем возможности осуществлять переход на предельно малых масштабах или на бесконечное число точек.

Построение приспособленного ортогонального базиса, рассмотренного в предыдущем пункте, может быть использовано как промежуточный этап и в методах топологической динамики для выбора наилучшей функции расстояния [22].

#### **4. Практическое применение.**

На практике решение задачи идентификации КО фактически включает в себя комбинацию перечисленных методов. Как отмечалось выше, обработка фотометрической информации осуществляется у нас комплексом специальных программ. В их алгоритмах используется стандартная процедура Блэкмана-Тьюки для обнаружения периодической составляющей. В процессе обработки проводится учет коротковолновых гармоник, обусловленных влиянием земной атмосферы [23]. Уровень доверительной вероятности всех значимых спектральных пиков по критерию Уокера превышает 95%.

Процедура идентификации включает в себя определение набора признаков, с некоторой вероятностью характеризующих каждый конкретный тип КО. Такими параметрами являются: фазовые градиенты, геометрическое альbedo, эффективная площадь отражения, относительные коэффициенты отражения и периоды изменения блеска.

Фазовая кривая предварительно аппроксимируется системой ортогональных функций, состоящих из фазовых функций простых геометрических форм [15]. Это позволяет принять решение о доминирующей форме объекта.

Дальнейшее представление блеска ГСС вектором  $E$  с составляющими  $B, V, R$ , где  $B, V$  и  $R$  - значения блеска в соответствующих фильтрах, дает возможность построить его трехмерный "фазовый портрет". (При подключении других параметров портрет будет иметь размерность более трех). Величина вектора  $E$



зависит от отражательной способности покрытия, а форма образованной поверхности связана с конструктивными особенностями через изменения цветовых характеристик. Такая процедура позволяет высказать предположение о типе и пространственной ориентации ГСС.

При построении фазового портрета объекта переменной яркости необходимо учесть короткопериодическую составляющую, связанную с его собственным вращением, хотя сама по себе эта составляющая также содержит полезную информацию.

Полученный фазовый портрет неизвестного объекта сравнивается с характеристиками имеющихся в базе данных "эталонов" - ГСС, типы которых известны. Если тип объекта отождествить не удалось, то проводятся высокоточные фотометрические наблюдения этого спутника в течение полугода, и создается "эталон" нового типа ГСС.

Следует подчеркнуть, что количество типов запускаемых объектов ограничено, и каждый конкретный тип ГСС имеет свой индивидуальный набор характеристик. Это позволяет среди всего разнообразия сопровождаемых КО выделить объекты одного типа (т.е. одного функционального назначения), определить вновь запущенные и переведенные из одной точки стояния в другую.

При создании нашего Зонального каталога ГСС [7,8] совместный анализ фотометрической и координатной информации позволил отождествить большую часть отслеживаемых нами объектов.

Приведем некоторые примеры результатов анализа фотометрической информации (названия ГСС приводятся согласно списка каталога).

1. Unknown 4 в июне 1997 года был переведен из точки стояния  $90^0$  в.д. в точку стояния  $120^0$  в.д..

2. Unknown 7 в январе - марте 1998 года из точки стояния  $92^0$  в.д. был переведен в точку стояния  $70^0$  в.д..

3. 93056A в марте-апреле 2000 года из точки стояния  $71^0$  в.д. переведен в точку стояния  $28^0$  в.д.

4. Объект 91010A отслеживался нами с момента его вывода на орбиту, включая его маневры на орбите и переход в пассивное состояние. Объект уверенно отождествлялся во все сеансы наблюдений.

5. Имеющаяся фотометрическая информация позволила сгруппировать ряд неизвестных объектов в группы однотипных КО. Например, можно отнести к одной группе Unknown 4, 7, 9 и объект 78016A, к другой - Unknown 6, 11, 12, 13, 19, 34, 33, 41, 48.

Приведенные примеры показывают, что использование фотометрической информации позволяет сделать выводы о типе наблюдаемого КО, его геометрии и ориентации. Следует подчеркнуть достаточную сложность процедуры отождествления типа ГСС. В процессе анализа информации ЭВМ предлагает несколько вариантов, но окончательное решение принимает эксперт, и это решение зависит от его компетентности и опыта. В настоящее время проводятся работы по совершенствованию имеющегося комплекса программ для того, чтобы свести к минимуму вмешательство оператора в процесс отождествления.

В заключении авторы выражают признательность своим коллегам из Лаборатории наблюдений ИСЗ АФИ за предоставленную возможность использования материалов совместных наблюдений.

#### *Литература*

1. Проблемы загрязнения космоса (космический мусор). Москва (1993).
2. Столкновения в околоземном пространстве (космический мусор). Москва (1995).
3. Околоземная астрономия (космический мусор). Москва (1998).
4. Околоземная астрономия и проблемы изучения малых тел солнечной системы. Москва (2000).
5. Демченко Б.И., Диденко А.В., Матягин В.С. и др. Автоматизация наблюдений подвижных космических объектов. Алма-Ата, "Наука" (1990).
6. Hernandez C., Jehn R. Classification of geostationary objects (issue 2). ESOC. (2000).
7. Демченко Б.И., Диденко А.В., Усольцева Л.А. и др. Зональный каталог геостационарных спутников. Алматы, Гылым (1996).
8. Демченко.Б.И., Диденко А.В., Усольцева Л.А. и др. Зональный каталог геостационарных спутников. (Вып. 2). Алматы, Гылым (2000).

9. Харитонов А.В., Терещенко В.М. и др. Сводный спектрофотометрический каталог звезд. Алма-Ата (1978).
10. Курьшев В.И., Муртазов А.К. Методы определения блеска искусственных космических объектов. Препринт № 6851-В86. Москва (1986).
11. Епишев В.П. Астрометрия и Астрофизика. **89**, т. 50. Киев. (1983).
12. Спутники планет. **207**. Москва. (1980).
13. Gese R.H. SAO Space. **127**. No.1. (1963).
14. Мороз В.И. Физика планет. Москва (1967).
15. McCue G., Williams J.G. Space Scie. **851**. No. 19 (1984).
16. Roques F., Moncuquen M. Astron. J. v.93, No. 6, **1549** (1987).
17. Григоревский В.А., Колесник С.Я. Астрономический вестник, т. XII, № 2, **107**. Москва (1978)
18. Бакушинский А.Б., Гончарский А.В. Некорректные задачи. Численные методы и приложения. МГУ. (1989).
19. Распознавание образов и медицинская диагностика. Москва (1972).
20. Айманова Г.К., Демченко Б.И. и др. Наблюдения ИНТ, т. 88. Москва (1988).
21. Айманова Г.К., Демченко Б.И. и др. Прикладные методы топологической динамики. Численный анализ, хаос. Препринт 90-03. Алма-Ата (1990).
22. Ланда П.С., Розенблюм Н.Г. Техническая физика, № 11, **59** (1989).
23. Бектасова Н.К., Диденко А.В. и др. Письма в АЖ, т. 20, № 12, **928** (1994)
24. Сочилина А.С., Киладзе Р.И. и др. Каталог геостационарных спутников. С.-Петербург. (1996)

**Abstract**

THE METHODS OF IDENTIFICATION OF GEOSTATIONARY SATELLITES BY THE PHOTOMETRIC INFORMATION.

*A.V.Didenko, L.A. Usoltzeva*

The different methods of identification of geostationary satellites by the uncoordinatal information are considered. The possibility of their employment for identification of object's type is demonstrated.

**Резюме**

ФОТОМЕТРИЯЛЫ<sup>о</sup> ХАБАРЛАУМЕН ГЕОСТАЦИОНАРЛЫ<sup>о</sup> ЖЕРДІ» ЖАСАНДЫ СЕРІКТЕРІН БІРЕГЕЙЛЕУ ДІСТЕРІ.

*Диденко А.В., Усольцева Л.А.*

Геостационарлы<sup>о</sup> Жерді» жасанды серіктерін бірегейлеу үшін пайдаланылатын фотометриялы<sup>о</sup> хабарлау<sup>1</sup>а талдау дiстерiн жина<sup>о</sup>тап орытады.

В.Г.Фесенков ананда<sup>1</sup>ы Астрофизика институтыны» Жерді» жасанды серіктерін ба<sup>о</sup>ылау лабораториясында жасал<sup>1</sup>ан геостационарлы<sup>о</sup> Жерді» жасанды серіктерiнi» аума<sup>о</sup>ты<sup>о</sup> каталогы мысалмен, оған осы дiстердi олдандумен корсетiледi.