

THE USE OF MODELING FOR INTERPRETATION OF  
OBSERVED LIGHT CURVES OF SATELLITES  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОПТИКО-ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ИНТЕРПРЕТАЦИИ  
НАБЛЮДАЕМЫХ КРИВЫХ БЛЕСКА ИСЗ

Melikyants S., Shakun L., Koshkin N., Dragomiretsky V., Strakhova S.

Odessa Astronomical Observatory, Odessa National University  
T.G.Shevchenko Park, Odessa 65014 Ukraine, *nikkoshkin@yahoo.com*

**ABSTRACT.** In this work the opportunity of interpretation of light curves of artificial satellite is investigated by using of theoretical light curves of its model. For this purpose the programming language Max Script and the applied program for computer's three-dimensional drawing for visualization of the generated model is used. The opportunities of the programming language and effectiveness of this application for optic-geometrical modeling of satellite are tested. This allows to generate satellite models, allows to set optical parameters of surfaces, to simulate adequately geometrical conditions of movement and supervision of the model. The theoretical integrated light curves of really supervised satellites were calculated, particularly of the cosmic apparatus Sich-1M. The comparison of supervised and theoretical light curves allows to make a conclusion about the mode of movement of satellite around its center of weight, and to make the remote sensing of the its state and behavior. The computing information on the model's light reflection in several color bands can be used, in addition, for interpretation of multi-color observations of satellites.

**АННОТАЦИЯ.** В данной работе рассматривается возможность интерпретации наблюдаемых кривых блеска ИСЗ сравнением с их теоретическими кривыми блеска. Для этой цели используется язык программирования Max Script и программа трёхмерной компьютерной графики, используемая для визуализации сгенерированной модели. Изучены возможности языка и применимость его для генерирования компьютерной модели ИСЗ, придания нужных оптических свойств поверхностям, адекватного моделирования геометрических условий наблюдения и движения модели. Получены теоретические интегральные кривые изменения блеска реально наблюдаемых ИСЗ, в частности КА «Сич-

1М». Сравнение наблюдаемых и теоретических кривых блеска позволяет сделать вывод о характере движения космического объекта относительно центра масс и осуществлять удаленный контроль его состояния и поведения. Расчетная информация об отражении света моделью в нескольких цветовых полосах может быть использована дополнительно при интерпретации колориметрических наблюдений ИСЗ.

Движение освещенного Солнцем спутника Земли относительно центра масс и по орбите определяет форму его кривой блеска, регистрируемую при фотометрических наблюдениях. Поэтому такие наблюдения можно использовать для независимого дистанционного анализа его движения, если известна его форма и оптические характеристики наружных покрытий. Наличие на кривой блеска периодичности или быстрого роста и спада блеска требует соответствующей интерпретации. Для этой цели было использовано оптико-геометрическое моделирование космических аппаратов и расчет отражения света их поверхностью. В рамках исследования нами создана программа на языке MAX Script, моделирующая движение космического аппарата, а также использована программа трёхмерной компьютерной графики 3DStudioMAX для визуализации процесса.

Компьютерная 3D-графика предназначена для имитации видеосъемки трёхмерных образов объектов, которые должны быть предварительно подготовлены в памяти компьютера. При использовании средств трёхмерной графики синтез изображения выполняется по алгоритму, включающему в общем случае следующие этапы:

- создание геометрической модели объекта,
- подготовка и размещение материалов покрытия

объекта, задание их оптических свойств,  
 - создание освещения и позиционирование наблюдателя в данный момент времени,  
 - имитация ориентации и движения объекта и наблюдателя относительно друг друга,  
 - формирование изображений в последовательные промежутки времени.

Освещённость всех объектов, отбрасываемые ими тени и блики света рассчитываются визуализирующей программой автоматически. Программа позволяет рассмотреть созданный объект с любого направления. Для удобства построения алгоритмов формирования изображения поверхность объекта разбивается на треугольные грани, которые образуют сетку с треугольными ячейками. Каждые две смежные грани, лежащие в одной плоскости, образуют четырёхугольник или полигон. Разбиение производится автоматически или под управлением оператора. Важным параметром грани является ее нормаль. Ориентация нормали позволяет определить, будет данная грань видимой или нет. Программа рассчитывает интенсивность световых лучей, которые отражаются от каждой точки (микрграни) в направлении наблюдателя. В качестве иллюстрации приведем фрагмент кода программы – создание, позиционирование в пространстве и разбиение усечённого конуса на грани:

```
cone1=cone height:60 heightsegs:20 radius1:68 capsegs:1
radius2:50 capsegs:1 sides:100
cone1.pos=[0,0,60]
```

Поскольку такое разбиение искусственно, то необходимо принимать специальные меры, обеспечивающие сглаживание ребер между гранями. Сглаживание достигается за счёт того, что ориентация нормали в каждой точке плоской грани считается переменной и рассчитывается как промежуточная между исходной ориентацией нормалей к данной грани и к трём другим граням, окружающим данную грань. Изменяя ориентацию нормали в отдельных точках граней, программа добивается сглаживания ребер между гранями. Такой подход обеспечивает достаточно высокое качество сглаживания ребер граней. Графические платы, называемые аппаратными ускорителями 3D-графики, способны выполнять преобразования координат вершин треугольных граней при помощи специализированных микропроцессоров. Это позволяет добиваться очень высокой скорости отображения 3D-графики на экране дисплея.

Каждый объект, какую бы сложную форму он ни имел, заключается в габаритный контейнер. Габаритный контейнер представляет собой прямоугольный параллелепипед, описанный вокруг объекта. При последующих поворотах объекта вместе с ним поворачивается и его габаритный контейнер. Использование габаритных контейнеров помогает быстро определять, заслоняют ли объекты

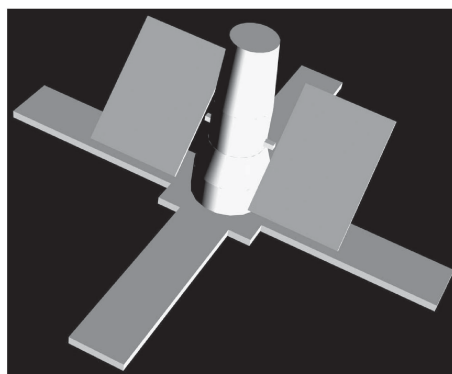


Рис. 1: Модель космического аппарата "Сич-1М"

друг друга при наблюдении с определенного направления, а также за геометрический центр объекта сложной формы принимается центр его габаритного контейнера.

В программе используются две основные системы координат – глобальная и локальная, а также два вида проекций: аксонометрические и перспективные. При параллельной проекции размеры объектов на изображении не зависят от их удаления от наблюдателя. Это удобно при моделировании очень удаленных объектов.

Имитация движения объекта по орбите достигается средствами анимации программы. Анимация представляет собой синтез достаточно большого числа изображений (кадров), на которых запечатлены последовательные стадии движения объекта. Программа автоматически строит с необходимой дискретностью все промежуточные кадры по заданным ключевым кадрам, в которых указаны положения объекта. Программа позволяет генерировать геометрические модели сложных тел, а также их освещение параллельными лучами света и наблюдение с разных направлений с большого расстояния, что соответствует реальному движению космических аппаратов и телескопа относительно друг друга. Поскольку, в результате фотометрических наблюдений удаленного космического аппарата регистрируется свет, отраженный в направлении наблюдателя всеми элементами его конструкции, то для модели также необходимо получить интегральную величину блеска. Это достигается специальным суммированием яркости всех пикселей изображения в каждом кадре, что позволяет получить расчётную интегральную кривую изменения блеска модели со временем.

В качестве тестовых испытаний возможностей программы для моделирования фотометрии космических аппаратов нами было проведено сравнение кривых блеска компьютерной модели (см. Рис. 1) с наблюдаемым изменением блеска КА «Сич-1М», который представляет собой конструкцию из двух

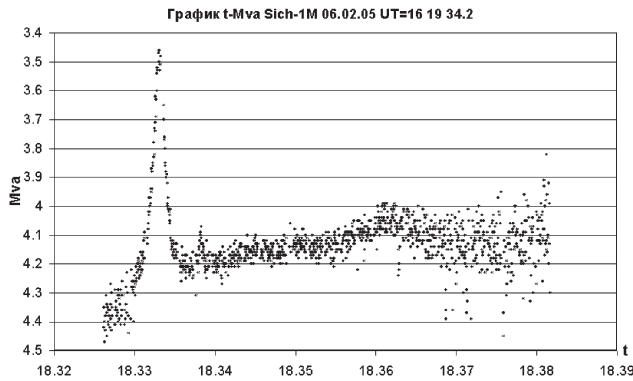


Рис. 2: Наблюдаемая кривая блеска КА Сич-1М. Одесса, 6.02.2005

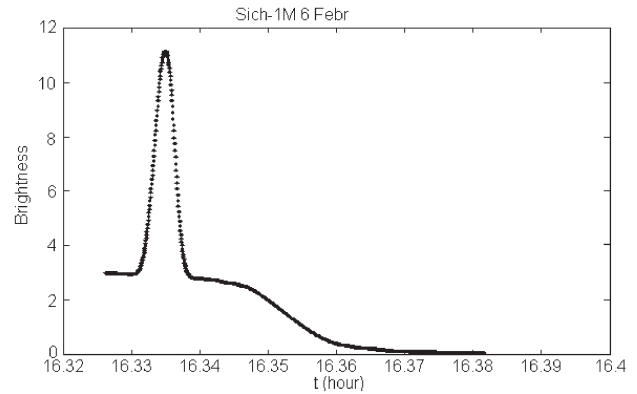


Рис. 4: Кривая блеска модели КА Сич-1М (прохождение 6.02.2005)

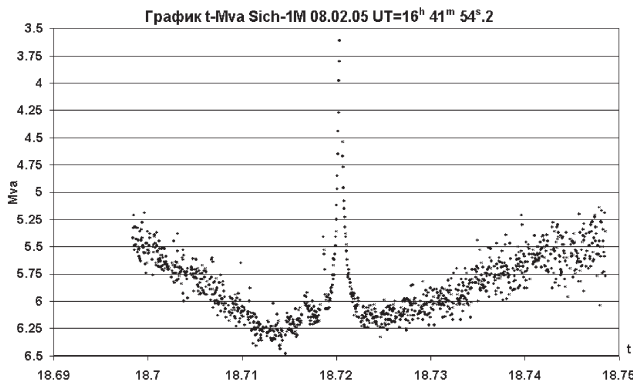


Рис. 3: Наблюдаемая кривая блеска КА Сич-1М. Одесса, 8.02.2005

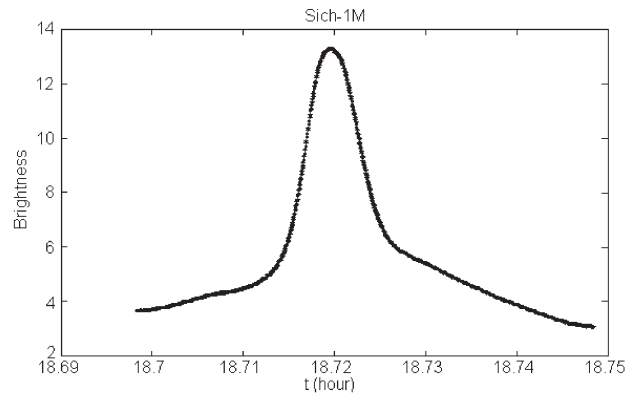


Рис. 5: Кривая блеска модели КА Сич-1М (8.02.2005)

цилиндров и двух конусов с солнечными панелями по бокам и крестообразной аппаратурной панелью в основании. Наблюдаемые кривые блеска представлены на рисунках 2 и 3. Наблюдения проводились в Одесской астрономической обсерватории 6 и 8 февраля 2005 года на телескопе КТ-50 с ПЗС камерой, работающей в ТВ-режиме (Бурлак и др., 2007).

Космический аппарат «Сич-1М» был выведен на орбиту в конце декабря 2004 года, при этом возникли проблемы с его ориентацией. Поэтому, как только позволили условия видимости, нами были получены фотометрические наблюдения КА, которые могут быть использованы для анализа ситуации с привлечением модельных кривых блеска.

Расчётные кривые блеска были получены при движении модели по реальной орбите, то есть, при тех же условиях освещения, что и наблюдаемые. На основе априорной информации о КА принята форма модели, а ее покрытие заданы свойства отражения подобные реальным. Продольная ось модели в полете ориентирована на центр Земли.

На рис. 4 и 5 представлены расчётные кривые изменения со временем интегрального блеска в видимом диапазоне длин волн.

Анализ расположения объекта на орбите относительно наблюдателя позволяет сделать вывод о том, что при прохождении КА 8 февраля 2005 года максимум на наблюдаемой кривой блеска обусловлен резким увеличением яркости (бликом) крестообразной панели в основании. Это подтверждается расчетом теоретической кривой блеска (Рис. 5). Однако, при моделировании прохождения объекта за 6 февраля при штатной ориентации, расчет дает плавное «диффузное» увеличение блеска, обусловленное разворотом панелей солнечных батарей, что не соответствует наблюдаемой кривой блеска. После анализа модельных кривых блеска, полученных при разных вариантах ориентации объекта, нами была принята его ориентация на двадцать семь градусов отличающаяся от штатной. В этом случае модель дает зеркальный блик от панелей солнечных батарей (Рис. 4) подобный тому, что зарегистрирован при наблюдениях 6 февраля. Это явилось подтверждением значительного отклонения продольной оси КА от вертикали и наличия проблем с его гравитационной стабилизацией возможно приводящих к колебательным движениям продольной оси.

В результате проделанной работы можно сделать

предварительный вывод о том, что программа генерирования моделей (MAX Script) вместе с программами компьютерной графики могут быть применены для построения адекватных моделей космических аппаратов. Их использование для моделирования изменяющихся геометрических условий наблюдения при расчете теоретических кривых блеска спутника позволяет анализировать характер его движения относительно центра масс.

#### Литература

- Бурлак Н., Драгомирецкий В., Кошкин Н., Рябов А., Шакурн Л.: 2007, in: *Международная научная конференция "Наблюдение околоземных космических объектов", 23-25 января 2007, Звенигород, Россия*, <http://lfvn.astronomer.ru/report/0000018/Od/index1.htm>