

## NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN  
PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 6, Number 310 (2016), 159 – 163

UDC 004

**B.M. Mazakova<sup>1</sup>, A.T. Zhakypov<sup>2</sup>, G.B. Abdikerimova<sup>3</sup>**<sup>1</sup>S. Seifullin Kazakh Agro Technical University, Astana;<sup>2</sup>Branch of Lomonosov Moscow State University, Astana;<sup>3</sup>L.N.Gumilyov Eurasian National University, Astana[scipper92@mail.ru](mailto:scipper92@mail.ru), [bayan7080@yandex.ru](mailto:bayan7080@yandex.ru), [guldana2002@mail.ru](mailto:guldana2002@mail.ru)**THE SPACECRAFT'S ORBIT CONSECUTION BASED  
ON OPEN SOURCE DATA**

**Abstract.** This article describes how a web application for the construction of the satellite's orbit remote sensing (RS) and the forecast of a possible shooting indicated on the surface of the Earth. For remote sensing is important to select a suitable solution to the problem of the satellite, taking into account the criteria as optical characteristics, the frequency of surveys.

The developed application offers a user-friendly interface and efficient calculation of the satellite position with the help of heuristic algorithms applied the formula of spherical trigonometry. With this application the user can see the trajectory of any available commercial satellite remote sensing for a predetermined period of time, as well as calculate all the possibilities that meet user requirements, to capture this specific point the spacecraft. The algorithm is based on SGP4 model using public TLE data for remote sensing satellites, the formulas of spherical trigonometry and heuristic methods of computation reduction.

The program code is written in JavaScript and PHP programming languages using libraries Bootstrap, JQuery and Cesiumjs. JavaScript is the most common way to create browser-based interface, new features are added to the language. The article presents screenshots of the program and the results of test execution speed of calculations.

**Key words:** spacecraft, remote sensing of the Earth's orbit, the web application, the SGP4 model, TLE.

УДК 004

**Б.М. Мазакова<sup>1</sup>, А.Т. Жакыпов<sup>2</sup>, Г.Б. Абдикеримова<sup>3</sup>**<sup>1</sup>КазАТУ имени С.Сейфуллина, г. Астана;<sup>2</sup>Казахстанский филиал МГУ имени М.В.Ломоносова, г. Астана;<sup>3</sup>ЕНУ имени Л.Н.Гумилева, г.Астана**ПОСТРОЕНИЕ ОРБИТЫ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА  
НА ОСНОВЕ ОТКРЫТЫХ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ**

**Аннотация.** В данной статье описывается веб-приложение для построения орбиты спутника дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и прогноза возможной съемки указанной точки на поверхности Земли. Для ДЗЗ важно решение проблемы выбора подходящего спутника, с учетом критериев как оптические характеристики, частота съемок.

Разработанное приложение предлагает удобный интерфейс для пользователя и эффективный расчет положения спутника, с помощью эвристических алгоритмов применялись формулы сферической тригонометрии. С помощью этого приложения пользователь сможет увидеть траекторию движения любого доступного коммерческого спутника ДЗЗ на заданный период времени, а также рассчитать все возможности, удовлетворяющие требованиям пользователя, для съемки указанной точки определенным космическим аппаратом. Алгоритм основан на модели SGP4, использующей общедоступные данные TLE для спутников ДЗЗ, формулах сферической тригонометрии и эвристических методах сокращения вычислений.

Код программы написан на языках программирования JavaScript и PHP с применением библиотек Bootstrap, JQuery и Cesiumjs. JavaScript является самым распространенным средством создания браузерных

интерфейсов, в язык добавляются новые возможности. В статье приведены скриншоты самой программы и результаты тестов скорости выполнения расчетов.

**Ключевые слова:** космический аппарат, дистанционное зондирование Земли, орбита, веб-приложение, модель SGP4, TLE.

В последние десятилетия стали важны спутниковые методы исследования поверхности Земли. Это связано как с дальнейшим совершенствованием космической техники, так и со свертыванием авиационных и наземных методов мониторинга. Основные области применения спутникового дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) – получение информации о состоянии окружающей среды и землепользования, изучение растительных сообществ, оценка урожая сельскохозяйственных культур и последствий стихийных бедствий. Средства дистанционного зондирования эффективны при изучении загрязнения почвы и водоемов, льдов на суше и воде, в океанологии. Эти средства позволяют получать сведения о состоянии атмосферы, в том числе в глобальном масштабе. При этом услуги ДЗЗ предоставляются тысячами спутников, вращающихся по низким околоземным орбитам. В связи с этим у пользователей услуг ДЗЗ возникает проблема выбора подходящего спутника. Критериями выбора здесь являются, во-первых, оптические характеристики, во-вторых, возможная частота съемок при желаемых параметрах. Если из множества всех доступных спутников ДЗЗ условно выделить класс по схожести оптических характеристик, то для окончательного принятия решения требуется оценить: в какой мере сможет исполнить заказ на съемку тот или иной космический аппарат из этого класса. В решении последней проблемы может помочь программа, описываемая в этой статье.

В данной статье описывается веб-приложение для построения орбиты спутника ДЗЗ и прогноза возможной съемки указанной точки на поверхности Земли. С помощью этого приложения пользователь сможет увидеть траекторию движения любого доступного коммерческого спутника ДЗЗ на заданный период времени, а также рассчитать все возможности, удовлетворяющие требованиям пользователя, для съемки указанной точки определенным космическим аппаратом.

Данное приложение можно условно разбить на две компоненты: интерфейс и вычислительную часть. Интерфейс содержит поля ввода данных, вывода результатов и трехмерную модель Земли для наглядной визуализации. Для построения орбиты Земли пользователю достаточно выбрать космический аппарат из списка, ввести стартовую и конечную даты и нажать на кнопку «Нарисовать орбиту» («Draw orbit») в панели слева. В результате будет визуализировано вращение космического аппарата вокруг Земли (Рисунок 1).

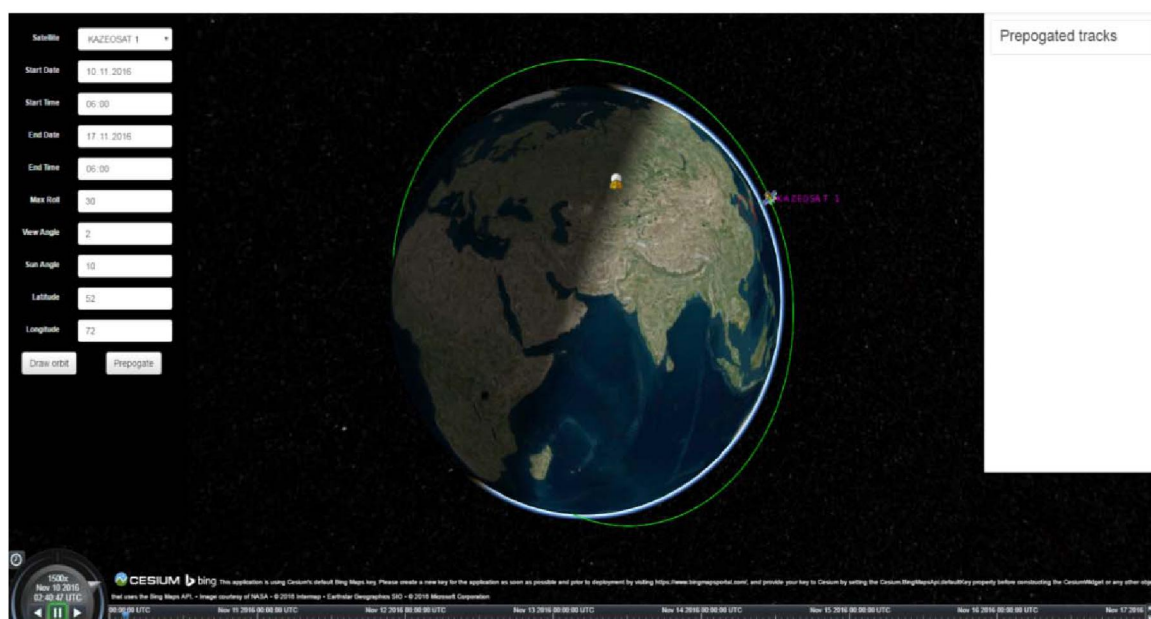


Рисунок 1 - Визуализация вращения космического аппарата вокруг Земли

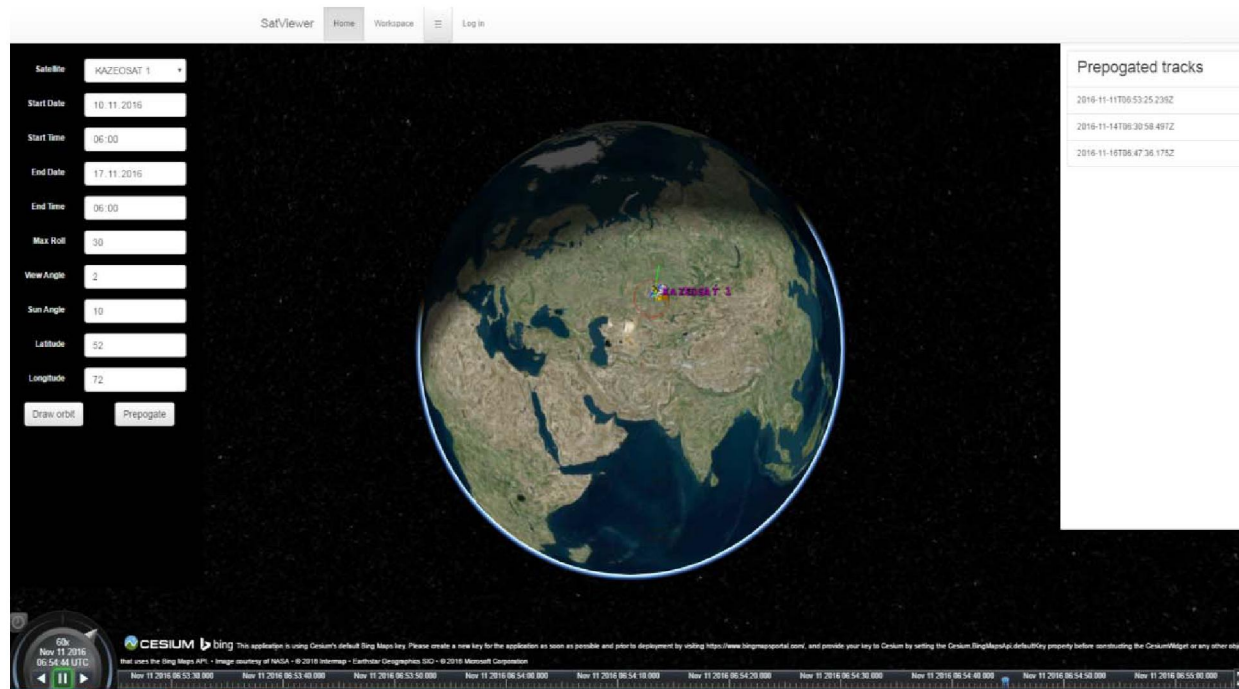


Рисунок 2 - Определение точки съемки

Скорость визуализации можно регулировать с помощью приборной панели внизу. Для расчета возможной съемки указанной точки необходимо будет еще ввести координаты требуемой точки или выбрать ее двойным щелчком мыши по карте, указать максимально допустимый угол съемки и минимальный угол Солнца и нажать «Propagate». В результате в панели справа будет выведен список пролетов, подходящих под заданные параметры. При выборе какого-либо элемента из этого списка на основном экране отобразится часть траектории, с которой возможно произвести съемку указанной точки согласно заданным ограничениям (Рисунок 2).

Вычислительная часть основана на модели SGP4 [1], использующей общедоступные данные TLE [2] для спутников ДЗЗ. Эта модель позволяет рассчитать положение космического аппарата в указанный момент времени. Таким образом, для построения орбиты производится расчет положения спутника по этой модели с некоторым шагом по времени. При вычислении возможностей съемки точки на поверхности Земли используются тот же подход вместе с эвристическими алгоритмами для сокращения вычислительной нагрузки. Кроме того, для достижения высокой точности определения метрических величин применялись формулы сферической тригонометрии [3]. Угол Солнца над горизонтом вычисляется динамически и зависит от времени и координат точки [4]. Если пользователю интересны ночные пролеты, то он может задать отрицательную величину угла Солнца, например  $-90$ .

Код программы написан на языках программирования JavaScript и PHP. Само приложение развернуто на сервере Apache2. Выбор средств программирования продиктован их нынешней популярностью в среде веб-разработок и отсутствием проблем совместимости со всеми современными интернет-браузерами. При создании интерфейса были использованы вспомогательные библиотеки Bootstrap, JQuery и Cesiumjs [5]. Последняя из перечисленных библиотек отвечает за визуализацию модели Земли и полета космического аппарата, для чего координаты положения спутника в пространстве, полученные в результате работы модели SGP4, конвертируются в формат czml [6].

Ниже в таблицах показано время выполнения работы при тестовых запусках программы на разных продолжительностях промежутка планирования. Тесты проводились на сервере, локально развернутом на ПК со следующими характеристиками, указанными в таблице 1.

Таблица 1 - Характеристики серверного компьютера

Процессор	Intel® Core™ i5-3470 CPU @ 3.20 GHz 3.20GHz
ОЗУ	4GB
ОС	Windows 7 (64-bit)
Видеокарта	Intel® HD Graphics, 1696 MB

Таблица 2 - Построение орбиты

Срок планирования, дни	Время выполнения, мс
1	13
3	230
7	278
14	533

Таблица 3 - Вычисление скорости

Срок планирования, дни	Время выполнения, мс
1	2
3	7
7	9
14	15

Как видно по результатам проведенных тестов, описываемое веб-приложение имеет достаточно высокую скорость работы на среднестатистическом компьютере, что дает возможность для его производительного использования в сети Интернет при относительно небольших затратах на аппаратуру.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Vallado David, Crawford Paul, Hujsak Richard, Kelso Ted. «Revisiting Spacetrack Report #3». USA, NY: «American Institute of Aeronautics and Astronautics», 2006. – 88 p.
- [2] <https://www.celestrak.com/NORAD/documentation/tle-fmt.asp>
- [3] Дубошин Г.Н. «Справочное руководство по небесной механике и астродинамике». М.: Наука. Глав. ред. физ.-мат. лит., 1976. – 864 стр.
- [4] <http://stjarnhimlen.se/comp/tutorial.html>
- [5] <https://cesiumjs.org/>
- [6] <https://github.com/AnalyticalGraphicsInc/czml-writer/wiki/>
- [7] Суханов А.А. «Астродинамика». М.: ИКИ РАН, 2010. - 204с. - Серия «Механика, управление, информатика».
- [8] Дубошин Г.Н. «Небесная механика. Методы теории движения искусственных небесных тел». М.: Наука, Физматлит, 1983. – 352 стр.
- [9] Дубошин Г.Н. «Небесная механика. Аналитические и качественные методы». М.: Наука, 1978. – 456 стр.
- [10] Lane Max, Hoots Felix. «An improved analytical drag theory for the artificial satellite problem». USA, NY: «American Institute of Aeronautics and Astronautics», 1969. – 11 p.
- [11] Kelso T.S. «Validation of SGP4 and IS-GPS-200D Against GPS Precision Ephemerides». USA, Arizona, Sedona: «17th AAS/AIAA Space Flight Mechanics Conference», 2007. – 15 p.
- [12] Carrico Timothy, Carrico John, Policastro Lisa, Loucks Mike. «Investigating Orbital Debris Events using Numerical Methods with Full Force Model Orbit Propagation». USA, NY: «American Institute of Aeronautics and Astronautics», 2008. 20 p.
- [13] Вагнер Ричард, Вайк Аллен. «JavaScript. Энциклопедия пользователя». М: «Диасофт», 2005. – 464 стр.
- [14] Bhaumik S. «Bootstrap Essentials». UK, Birmingham: «Packt Publishing», 2015. – 166 p. – ISBN: 978-1-78439-517-9.
- [15] Spurlock J. «Bootstrap». USA, CA, Sebastopol: «O’Reilly Media», 2013. – 128 p.
- [16] Фримен А. «jQuery для профессионалов». М: «Вильямс», 2013. – 954 стр. – ISBN: 978-5-8459-1799-7.
- [17] Кузнецов М.В., Симдянов И.В., Гольшев С.В. «PHP 5 на примерах». СПб: «БХВ Петербург», 2005. – 576 стр.
- [18] Welling L. «PHP and MySQL Web Development (4th Edition)». USA, Boston: «Addison-Wesley Professional», 2008. – 1008 p. – ISBN: 978-0672329166.
- [19] Mohammed J.K. «Apache Server 2 Bible». USA, NY: «Wiley», 2002. – 800 p. – ISBN: 978-0764523287.
- [20] Kew N. «The Apache Modules Book: Application Development with Apache». USA, NJ: «Prentice Hall», 2007. – 588 p.

#### REFERENCES

- [1] Vallado David, Crawford Paul, Hujsak Richard, Kelso Ted. «Revisiting Spacetrack Report #3». USA, NY: «American Institute of Aeronautics and Astronautics», 2006. 88 p. (in Eng.).
- [2] <https://www.celestrak.com/NORAD/documentation/tle-fmt.asp>(in Eng.).

- [3] GN Duboshin "Reference Guide on celestial mechanics and astrodynamics". М.: Nauka. Heads. Ed. Sci. lit., **1976**, 864 p. (in Russ.).
- [4] <http://stjarnhimlen.se/comp/tutorial.html>(in Eng.).
- [5] <https://cesiumjs.org/>(in Eng.).
- [6] <https://github.com/AnalyticalGraphicsInc/czml-writer/wiki/>(in Eng.).
- [7] AA Sukhanov "Astrodynamics". М.: IKI, **2010**, 204p. - "Mechanics, Management, Computer Science" series. (in Russ.).
- [8] GN Duboshin "Celestial Mechanics. Methods of the theory of motion of artificial celestial bodies." М.: Science, FIZMATLIT, **1983**, 352 p. (in Russ.).
- [9] Duboshin GN "Celestial Mechanics. Analytical and qualitative methods." М.: Nauka, **1978**, 456 p.
- [10] Lane Max, Hoots Felix. «An improved analytical drag theory for the artificial satellite problem». USA, NY: «American Institute of Aeronautics and Astronautics», **1969**, 11 p. (in Eng.).
- [11] Kelso T.S. «Validation of SGP4 and IS-GPS-200D Against GPS Precision Ephemerides». USA, Arizona, Sedona: «17th AAS/AIAA Space Flight Mechanics Conference», **2007**, 15 p. (in Eng.).
- [12] Carrico Timothy, Carrico John, Policastro Lisa, Loucks Mike. «Investigating Orbital Debris Events using Numerical Methods with Full Force Model Orbit Propagation». USA, NY: «American Institute of Aeronautics and Astronautics», **2008**, 20 p. (in Eng.).
- [13] Richard Wagner, Vayk Allen. «JavaScript. User Encyclopedia." М: "DiaSoft", **2005**, 464 p. (in Russ.).
- [14] Bhaumik S. «Bootstrap Essentials». UK, Birmingham: «Packt Publishing», **2015**, 166 p. – ISBN: 978-1-78439-517-9. (in Eng.).
- [15] Spurlock J. «Bootstrap». USA, CA, Sebastopol: «O'Reilly Media», **2013**, 128 p. (in Eng.).
- [16] Freeman A. «jQuery for professionals." М: "Williams", **2013**, 954 p, ISBN: 978-5-8459-1799-7. (in Russ.).
- [17] Kuznetsov MV, Simdyanov IV, Golyshev SV «PHP 5 by way of example." St. Petersburg: "BHV Peterberg", **2005**, 576 p. (in Russ.).
- [18] Welling L. «PHP and MySQL Web Development (4th Edition)». USA, Boston: «Addison-Wesley Professional», **2008**, 1008 p., ISBN: 978-0672329166. (in Eng.).
- [19] Mohammed J.K. «Apache Server 2 Bible». USA, NY: «Wiley», **2002**, 800p. ISBN: 978-0764523287. (in Eng.).
- [20] Kew N. «The Apache Modules Book: Application Development with Apache». USA, NJ: «Prentice Hall», **2007**, 588 p. (in Eng.).

**Б.М. Мазакова<sup>1</sup>, А.Т. Жакъшов<sup>2</sup>, Г.Б. Абдикеримова<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>С. Сейфуллин атындағы ҚазАТУ Астана қ.,

<sup>2</sup>М.В.Ломоносов атындағы МГУ-нің қазақстандық филиалы, Астана қ.,

<sup>3</sup>Л.Н.Гумилев атындағы УҰУ, Астана қ.,

### **КӨЗІ АШЫҚ МӘЛІМЕТТЕРДІҢ НЕГІЗІНДЕ ҒАРЫШ АППАРАТТАРЫНЫҢ ОРБИТАСЫН САЛУ**

**Аннотация.** Бұл мақалада қашықтықтан зондтау арқылы спутниктің орбитасын салу және жер бетіндегі берілген түсіруге ықтимал нүктесінің болжамын беру үшін әзірленген веб-бағдарлама сипатталады. Пайдаланушы осы қосымшаның көмегімен алдын ала белгіленген уақыт аралығында кез - келген қолда бар коммерциялық қашықтықтан зондтау спутниктің траекториясын көре алады, сондай-ақ, нақты нүктені ғарыш аппаратымен түсіру үшін, пайдаланушы талаптарына жауап беретін барлық мүмкіндіктерін есептеуге болады. Алгоритм қашықтықтан зондтау жерсеріктерінің қоғамдық TLE деректерін пайдаланатын SGP4 үлгісіне, сфералық тригонометрия формулаларына және есептеуін азайтатын эвристикалық әдістеріне негізделген. Бағдарлама коды JavaScript және PHP бағдарламалау тілдерінде, Bootstrap, JQuery және Cesiumjs кітапханаларды пайдаланып жазылған. Бұл мақалада бағдарламасының скриншоты және есептеулерді орындау жылдамдығы сынақтарының нәтижелері ұсынылған.

**Тірек сөздер:** ғарыштық аппарат, Жерді қашықтықтан зондтау, орбита, веб-қосымша, модель SGP4, TLE.