

Работа выполнена в рамках программно-целевого финансирования Аэрокосмического комитета Министерства по инвестициям и развитию Республики Казахстан на 2015-2017 г.г.

## Об устойчивости программного движения космического аппарата

Жилисбаева К.С.<sup>1</sup>, Саспаева А. Д.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Казахский национальный университет имени аль-Фараби,  
<sup>2</sup>Национальный центр космических исследований и технологий,  
Алматы, Казахстан  
1zhilisbaeva@mail.ru, 2asem.saspaeva@mail.ru

Современная теория управления вращательным движением космического аппарата (КА) постоянно стимулируется практическими потребностями быстро развивающейся техники космических полетов и систем ориентации и стабилизации.

При движении КА с постоянным магнитом на борту в геомагнитном поле неравномерное вращение вектора местной напряженности геомагнитного поля в инерциальном пространстве и изменения его модуля вдоль траектории КА не позволяют обеспечить точную ориентацию продольной оси КА вдоль этого вектора [1-3]. Поэтому возникает задача построения управления вращательным движением КА [4, 5].

В данной работе исследуется динамика управляемых движений спутника. В работе [6] была рассмотрена задача создания управляющих моментов вращательным движением динамически симметричного спутника Земли, имеющего постоянный магнитный момент, направленный по оси его динамической симметрии.

Уравнения управляемого движения намагниченного спутника в геомагнитном поле имеет вид:

$$\begin{cases} \dot{y}_1 = y_2 \\ \dot{y}_2 = y_3^2 \sin y_1 \cos y_1 - k_2^2 \sin k_1 \cos k_1 + \frac{C}{A} r (k_2 \sin k_1 - y_3 \sin y_1) + \\ + \frac{I \mu_e}{AR^3} (\cos k_2 \cos k_1 - \cos y_1 \cos k_2) \\ \dot{y}_3 = 2y_3 y_2 \operatorname{ctg} y_1 + \frac{C r y_2}{A \sin y_1} \end{cases} \quad (1)$$

Исходное программное движение, являясь одним из решений полученной системы, будет возможным для физической реализации только в случае, если оно будет асимптотически устойчивым по Ляпунову.

Для анализа устойчивости по Ляпунову заданного движения управляемой системы выпишем для уравнений (1) соответствующие уравнения возмущенного движения. Для этого введем отклонения  $x_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ) для переменных  $y_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ). Линеаризуем полученную систему, тогда получим линейную систему дифференциальных уравнений третьего порядка с постоянными коэффициентами

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = a_{12} x_2 \\ \dot{x}_2 = a_{21} x_1 + a_{23} x_3 \\ \dot{x}_3 = a_{32} x_2 \end{cases} \quad (2)$$

$$\text{где } a_{12} = 1, a_{21} = k_2^2 \cos 2k_1 + \frac{C}{A} r k_2 \cos k_1 + \frac{I \mu_e}{R^3} \cos k_2 \sin k_1 \\ a_{23} = 2k_2 \sin k_1 \cos k_1 - \frac{C}{A} r \sin k_1, a_{32} = \frac{2k_2 \cos k_1 + Cr}{\sin k_1}$$

Составив и решив характеристическое уравнение для этой системы, имеем один нулевой корень и, соответственно, два ненулевых. При выполнении неравенства

$$k_2^2 \cos 2k_1 + \frac{C}{A} r k_2 \cos k_1 + \frac{I \mu_e}{R^3} \cos k_2 \sin k_1 + \left( 2k_2 \cos k_1 - \frac{C}{A} r \right) (2k_2 \cos k_1 + Cr) > 0$$

один из корней имеет положительную вещественную часть. Поэтому по теореме о неустойчивости системы уравнений по ее линейному приближению имеем неустойчивость заданных программных движений.

Результаты исследований показали, что подбором значений  $k_1 = \frac{2\pi}{3}$  и  $k_2 = 0.5$  можно реализовать программные движения даже при асимптотически неустойчивости по Ляпунову.

Для выбранного программного движения получены управляющие моменты, обеспечивающие заданное движение.

Работа выполнена при поддержке грантового финансирования научно-технических программ и проектов Комитетом науки МОН РК, грант № 0091/ГФ4.

#### Литература:

1. Хентов А.А. Пассивная стабилизация искусственных спутников по магнитному полю Земли // Космические исследования. – 1967. – Т. 5, № 4. – С. 540-553.
2. Безгласный С.П. Стабилизация и управление движением динамических систем // Электронное учебное пособие. – Самара, 2010. – 102 с.
3. Жилисбаева К.С. О колебаниях намагниченного спутника в окрестности стационарного движения // Сб. Методы экспериментальной физики. – 2010. – С. 49-52.
4. Zhilisbayeva K.S., Ismailova A. Passive Magnetic Stabilization of the Rotational Motion of the Satellite in its Inclined Orbit // Applied Mathematical Sciences. – 2015. – V. 9, № 16. – P. 791-802.
5. Zhilisbayeva K.S., Ismailova A., Tulegenova D. On Influence of the Gravitational Moment on the Magnetic Stabilization of the CubeSat in the Geomagnetic Field // Abstracts The European CubeSat Symposium. Brussels, Belgium. – 2013. – P. 54.
6. Zhilisbayeva K.S., Saspayeva A.D. Programed motion of the magnetized spacecraft // KazNU BULLETIN Mathematics, Mechanics and Computer Science series. – 2016. – V. 89, № 2. – P.87-93.

### Риск-анализ ущерба морской биоте при аварийном разливе нефти: теория, алгоритм, информационная система

Закарин Э.А.

ТОО «EcoRisk», Алматы, Казахстан  
zakarin\_edige@mail.ru

Проблема экологических рисков выдвигается на передний план во всех проектах промышленного и сельскохозяйственного развития - любое наращивание производственных мощностей требует оценки экологических последствий этих проектов. Такая оценка носит, конечно, вероятностный характер и связана со

сложными процедурами риск-анализа с привлечением большого объема необходимой информации.

Теоретической основой данной работы является стохастическая модель оценки экологических рисков [1], разработанная методами теории вероятности. При построении модели последовательно рассматривается цепочка неопределенностей, формирующих эту задачу. Это неопределенность места, времени и мощности аварии (задается *a priori*), стохастический характер аварийного загрязнения природной среды и неопределенность реакции животного и растительного мира на это загрязнение. Вероятность совмещения этих событий (аварии, загрязнения природы и ущерба биоте) определяется как произведение их вероятностей, и на ее основе вычисляется мера риска. Далее выполняется ранжирование территории по мере риска, и строится соответствующая карта.

В данной работе описанная теоретическая модель применяется к задаче оценки экологических рисков при разливе нефти на акватории Северного Каспия. В упрощенной постановке задача сформулирована в работе [2]. Актуальность проблемы связана с освоением нефтяных месторождений в очень уязвимой мелководной части Каспийского моря, где крупные аварии могут привести к катастрофическим последствиям.

Поставленная задача имеет высокий класс сложности и, соответственно, алгоритм ее решения имеет сложную структуру, отраженную на рисунке 1.

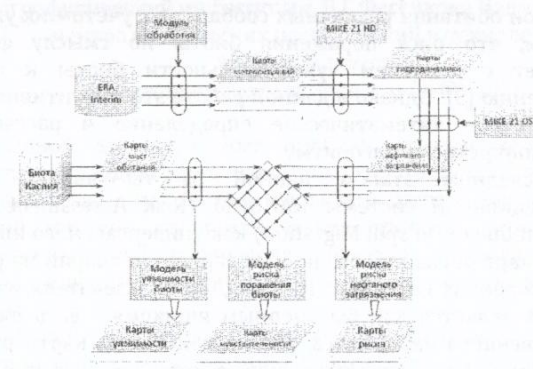


Рисунок 1 - Алгоритм расчета карт риска поражения биоты при разливе нефти