

# РАЗРАБОТКА АДАПТИВНОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ФОРМАЦИИ СПУТНИКОВ НА ОРБИТЕ ЗЕМЛИ

Байбатырова А.С.<sup>1</sup>, Абенова Ф.А.<sup>2</sup>, Туякбаев А.А.<sup>3</sup>, Ожикенов К.А.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Байбатырова Айгерим Саматбеккызы - магистрант;

<sup>2</sup>Абенова Фатима Аманбеккызы - магистрант,  
специальность: приборостроение;

<sup>3</sup>Туякбаев Алтай Алишерович – кандидат технических наук, доцент;

<sup>4</sup>Ожикенов Касымбек Адильбекович – кандидат технических наук, заведующий кафедрой,  
кафедра робототехники и технических средств автоматики,

Казахский национальный технологический исследовательский университет им. К.И. Сатпаева,  
г. Алматы, Республика Казахстан

**Аннотация:** в данной статье разработана система управления синхронизацией полета группировки спутников на орбите Земли. Орбита лидера принята круговой, а угловая скорость постоянной. Спутники рассматриваются как материальные точки. Спутниковые наведения не принимаются во внимание. Считается, что управление применяется в трех взаимно перпендикулярных направлениях независимо. Исследованы системы управления относительного положения спутника-последователя. Кроме того, учтены внешние возмущения, в том числе не сферичность гравитационного поля Земли и Луны, сопротивление атмосферы, влияние солнечного давления.

**Ключевые слова:** спутники, формация спутников, адаптивное управление.

В данной работе рассматривается задачи адаптивного управления группировки спутников, которые просты в технической реализации или не требует измерения ряда переменных управляемого процесса [1]. Усовершенствовать систему можно на основе принципов адаптаций, вводя подстройку коэффициентов регулятора в процессе его функционирования [2]. При этом появляется возможность без существенной переделки действующей системы и без установки новых датчиков обеспечить требуемое качество управления на всех режимах работы.

Рассматриваемую систему можно отнести к классу систем с неявной эталонной моделью [3].

Добавим адаптивный алгоритм, который будет работать по приведенным ниже уравнениям [4]. Для управления по оси X:

$$V_x(t) = k_{2x}(t) \cdot e_x(t) + k_{2x}(t) \cdot x_d(t) \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициенты выработки алгоритмом адаптации.

Ошибка описывается уравнением

$$e_x(t) = x(t) - x_d(t) \quad (2)$$

Неявная эталонная модель адаптивного алгоритма выглядит

$$s_x(t) = \dot{e}_x(t) + g \cdot e(t), \quad g > 0 \quad (3)$$

Переменные, которые вырабатываются алгоритмом адаптивности

$$\dot{k}_{1x} = -\gamma_1 s_x(t) \cdot e_x(t) - \alpha k_{1x}(t), \quad \gamma_1 > 0, \alpha > 0 \quad (4)$$

$$\dot{k}_{2x} = -\gamma_2 s_x(t) \cdot x_d(t) - \alpha k_{2x}(t), \quad \gamma_2 > 0 \quad (5)$$

где  $\gamma$  – коэффициент усиления, подбирается при моделировании системы управления,  $\alpha$  – коэффициент робастности.

Для управления по оси Y:

$$V_y(t) = k_{2y}(t) \cdot e_y(t) + k_{2y}(t) \cdot y_d(t) \quad (6)$$

где

$$e_y(t) = y(t) - y_d(t) \quad (7)$$

$$s_y(t) = \dot{e}_y(t) + g \cdot e(t) \quad (8)$$

$$\dot{k}_{1y} = -\gamma_1 s_y(t) \cdot e_y(t) - \alpha k_{1y}(t) \quad (9)$$

$$\dot{k}_{2y} = -\gamma_2 s_y(t) \cdot y_d(t) - \alpha k_{2y}(t) \quad (10)$$

Для управления по оси Z:

$$V_z(t) = k_{2z}(t) \cdot e_z(t) + k_{2z}(t) \cdot z_d(t) \quad (11)$$

где

$$e_z(t) = z(t) - z_d(t) \quad (12)$$

$$s_z(t) = \dot{e}_z(t) + g \cdot e(t) \quad (13)$$

$$\dot{k}_{1z} = -\gamma_1 s_z(t) \cdot e_z(t) - \alpha k_{1z}(t) \quad (14)$$

$$\dot{k}_{2z} = -\gamma_2 s_z(t) \cdot z_d(t) - \alpha k_{2z}(t) \quad (15)$$

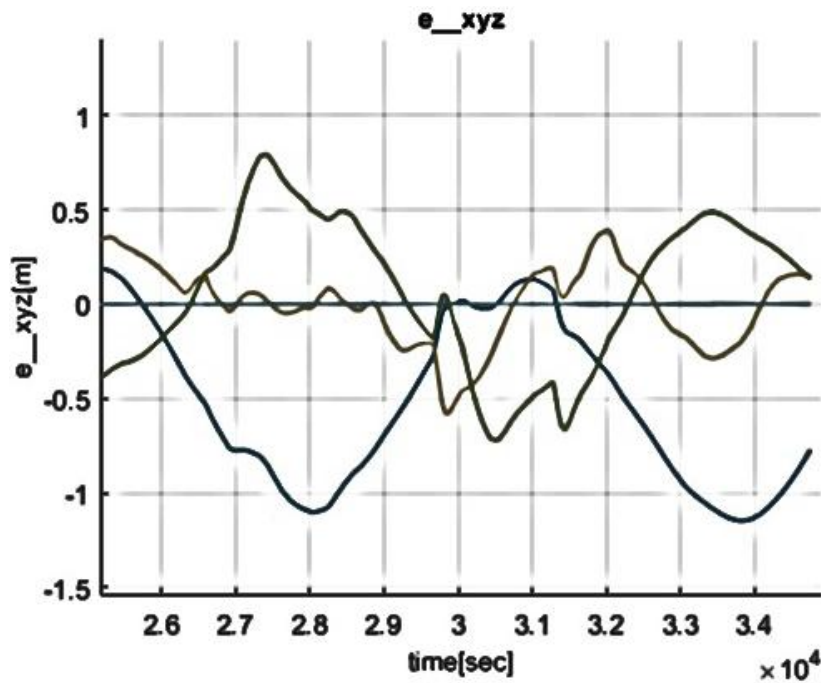


Рис. 1. Графики ошибок положения для ПД-регулятора с линеаризацией ОС в широкомасштабном формате

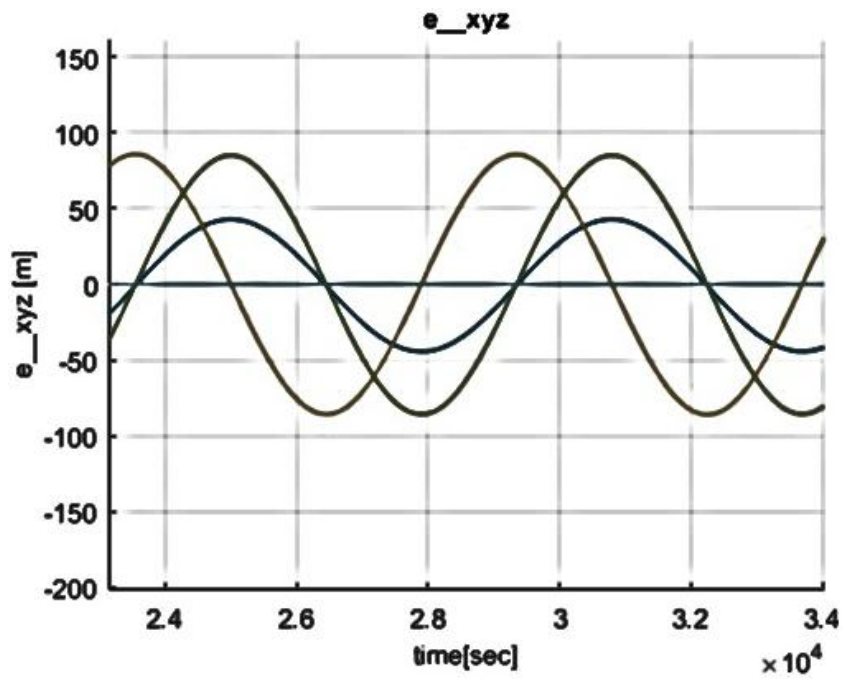


Рис. 2. Графики ошибок положения для ПД-регулятора без линеаризации ОС в широкомасштабном формате

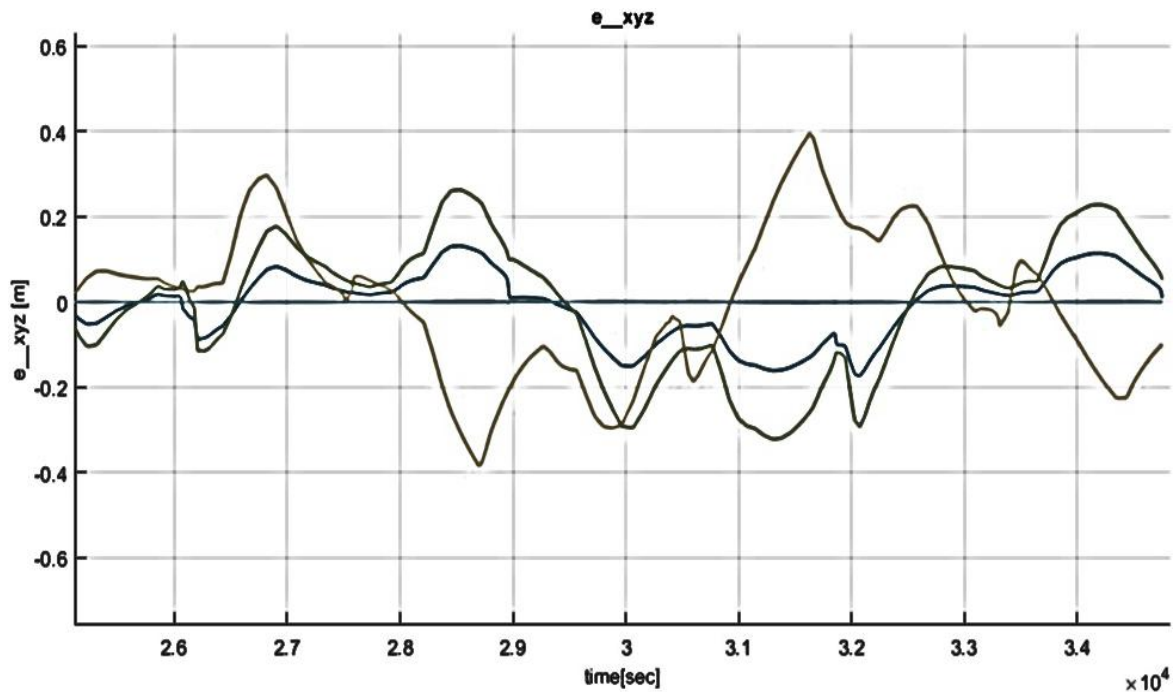


Рис. 3. Графики ошибок положения для простой адаптивной системы (в широкомасштабном формате)

Данный адаптивный алгоритм формации спутников снижает динамический порядок и уменьшает количество арифметических операций в законе управления, как линеаризация обратной связи в ПД - регуляторе [5]. При этом упрощение структуры системы управления не препятствует исправной работе спутника-последователя.

#### Список литературы

1. Alfriend K., Vadali S.R., Gurfil P., How J., Breger L. Spacecraft Formation, 2016. P.386.
2. Flying: Dynamics, Control, and Navigation. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2010. P.254.
3. Pelton Joseph N., Jakhu Ram Sarup. Small Satellites and Their Regulation. -New York: Springer, 2014. P. 90.
4. Schetter Thomas, Campbell Mark, Surka Derek. Multiple agent-based autonomy for satellite constellations // Elsevier Science B.V., 2003. P. 147-180.
5. Neeck Steven P., Magner Thomas J., Paules Granville E.. NASA's small satellite missions for Earth observation // Elsevier, 2004. P. 187-192.