

# О ПЕРЕХОДАХ МЕЖДУ ГАЛО-ОРБИТАМИ В ОКРЕСТНОСТИ ТОЧКИ ЛИБРАЦИИ L2 СИСТЕМЫ СОЛНЦЕ-ЗЕМЛЯ



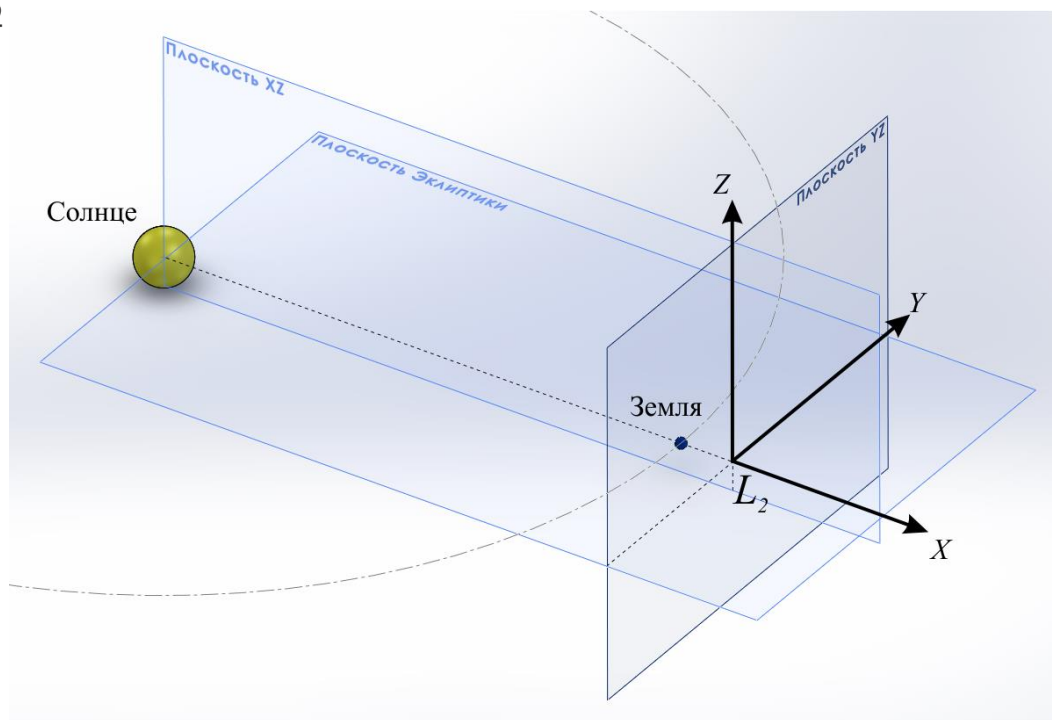
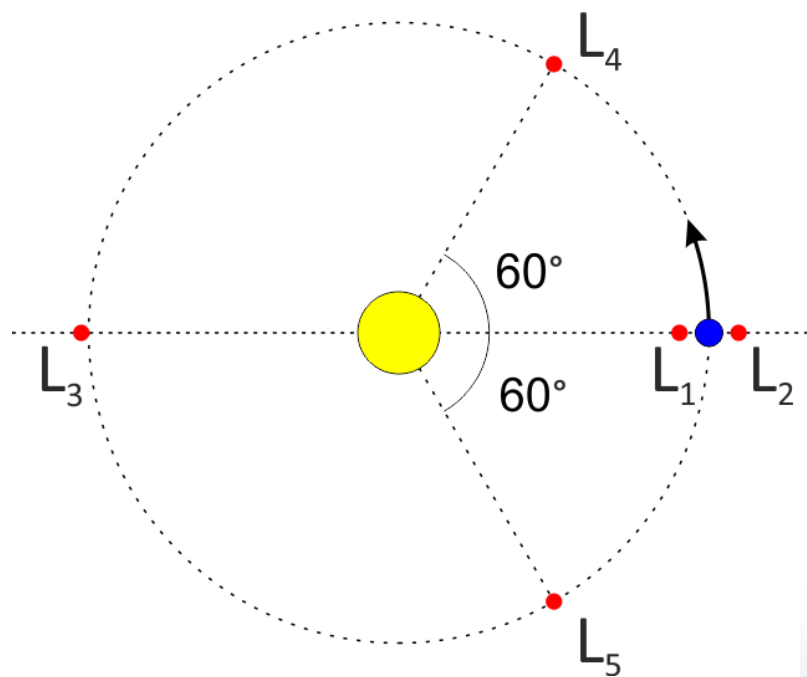
*Бобер Станислав Алексеевич*  
[stas.bober@gmail.com](mailto:stas.bober@gmail.com)

*Аксенов С.А.  
Луговая А.И.*

- Методика расчета ограниченных орбит в окрестности точки либрации L2 системы Солнце-Земля
- Стратегии перехода с гало-орбиты на гало-орбиту;  
Алгоритм расчета компонент импульсов перехода
- Результаты расчетов и их анализ



# Система координат



- Инерциальная СК:

$$\ddot{\mathbf{r}} = -\gamma \sum_{i=1}^N m_i \frac{(\mathbf{r} - \mathbf{r}_i)}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}_i|^3}$$



- Вращающаяся СК:

$$\begin{cases} \ddot{x} - 2\dot{y} - (2B_0 + 1)x = a_x \\ \ddot{y} + 2\dot{x} + (B_0 - 1)y = a_y \\ \ddot{z} + B_0 z = a_z \end{cases}$$



ЛИНЕАРИЗАЦИЯ



- Решение линеаризованной системы во вращающейся СК:

$$\begin{cases} x = A_1 e^{\lambda t} + A_2 e^{-\lambda t} + A_{xy} \cos(\omega_{xy} t + \varphi_{xy}) \\ y = k_1 A_1 e^{\lambda t} + k_1 A_2 e^{-\lambda t} + k_2 A_{xy} \sin(\omega_{xy} t + \varphi_{xy}) \\ z = A_z \cos(\omega_z t + \varphi_z) \end{cases}$$



$$\begin{cases} \ddot{x} - 2\dot{y} - (2B_0 + 1)x = 0 \\ \ddot{y} + 2\dot{x} + (B_0 - 1)y = 0 \\ \ddot{z} + B_0 z = 0 \end{cases}$$

- Инерциальная СК:

$$\ddot{r} = -\gamma \sum_{i=1}^N m_i \frac{(r - r_i)}{|r - r_i|^3}$$

- Решение линеаризованной системы во вращающейся СК:

$$\begin{cases} x = A_1 e^{\lambda t} + A_2 e^{-\lambda t} + A_{xy} \cos(\omega_{xy} t + \varphi_{xy}) \\ y = k_1 A_1 e^{\lambda t} + k_1 A_2 e^{-\lambda t} + k_2 A_{xy} \sin(\omega_{xy} t + \varphi_{xy}) \\ z = A_z \cos(\omega_z t + \varphi_z) \end{cases}$$

Возрастающая компонента  
Убывающая компонента  
Ограниченная компонента

- Инерциальная СК:

$$\ddot{r} = -\gamma \sum_{i=1}^N m_i \frac{(r - r_i)}{|r - r_i|^3}$$

- Структура решения:

$$\begin{cases} x = A_1 \xi_{inc}(t) + A_2 \xi_{dec}(t) + A_{xy} \xi_{lim}(t, \varphi_{xy}) \\ y = k_1 A_1 \psi_{inc}(t) + k_1 A_2 \psi_{dec}(t) + k_2 A_{xy} \psi_{lim}(t, \varphi_{xy}) \\ z = A_z \zeta_{lim}(t, \varphi_z) \end{cases}$$

Возрастающая компонента  
Убывающая компонента  
Ограниченная компонента

- Инерциальная СК:

$$\ddot{r} = -\gamma \sum_{i=1}^N m_i \frac{(r - r_i)}{|r - r_i|^3}$$

- Структура решения:

Найти ограниченное решение

Для заданных

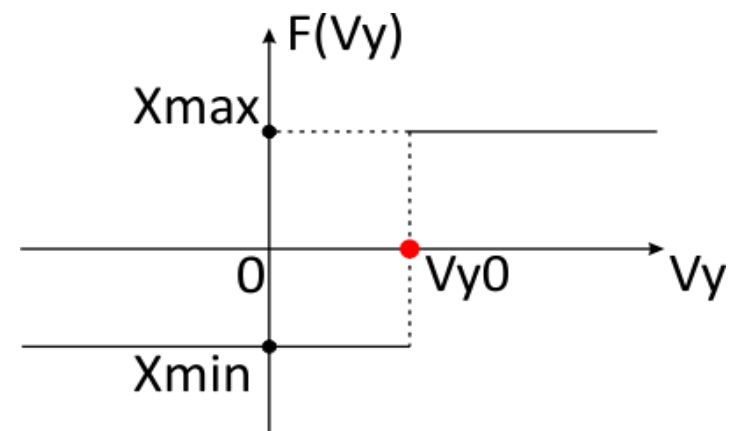
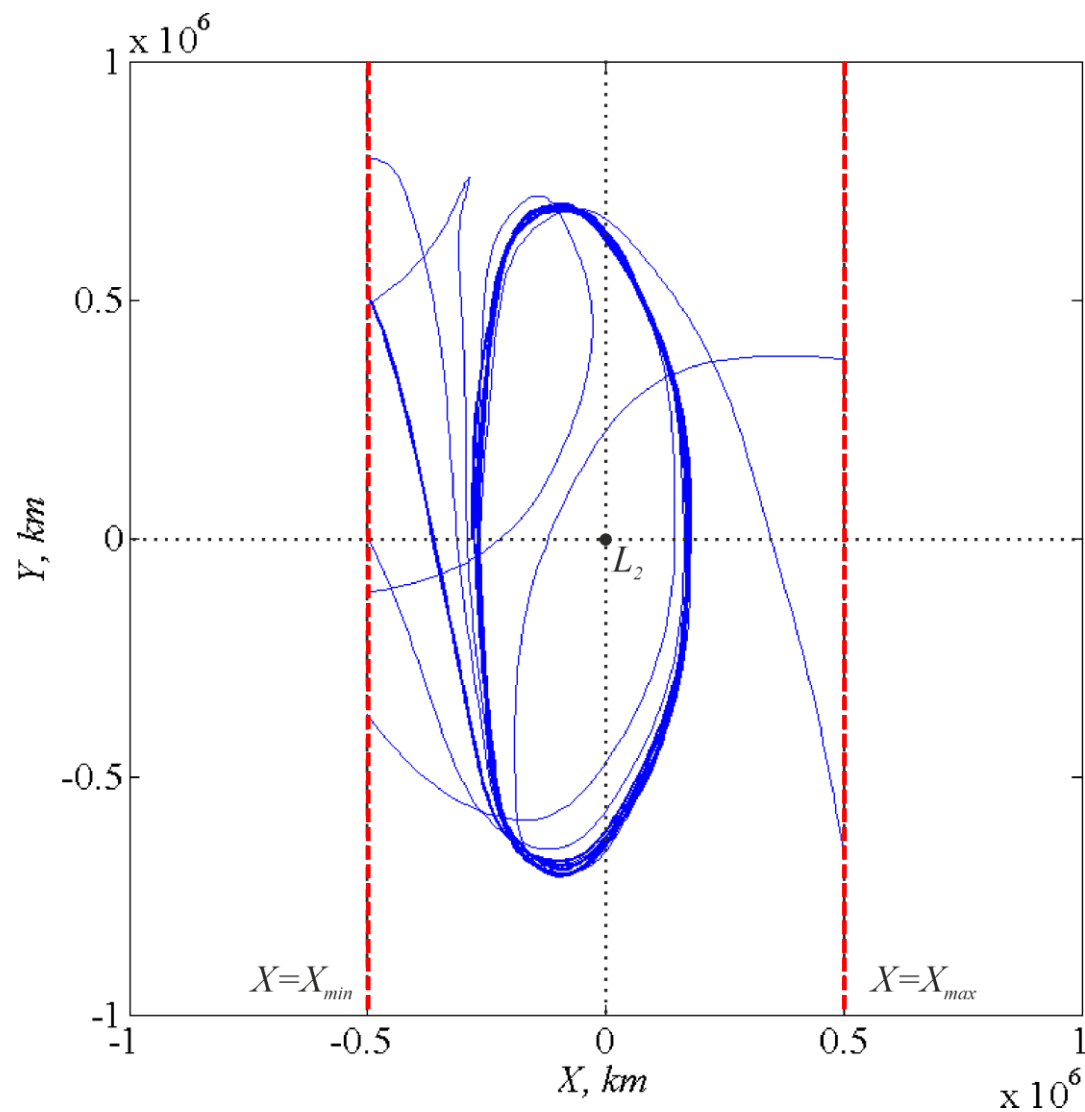
$$x_0 = x(0), y_0 = y(0), z_0 = z(0),$$

$$v_{x0} = v_x(0), v_{z0} = v_z(0),$$

найти такую  $v_{y0}$ , чтобы  $A_I = 0$ .

$$\begin{cases} x = A_1 \xi_{inc}(t) + A_2 \xi_{dec}(t) + A_{xy} \xi_{lim}(t, \varphi_{xy}) \\ y = k_1 A_1 \psi_{inc}(t) + k_1 A_2 \psi_{dec}(t) + k_2 A_{xy} \psi_{lim}(t, \varphi_{xy}) \\ z = A_z \zeta_{lim}(t, \varphi_z) \end{cases}$$

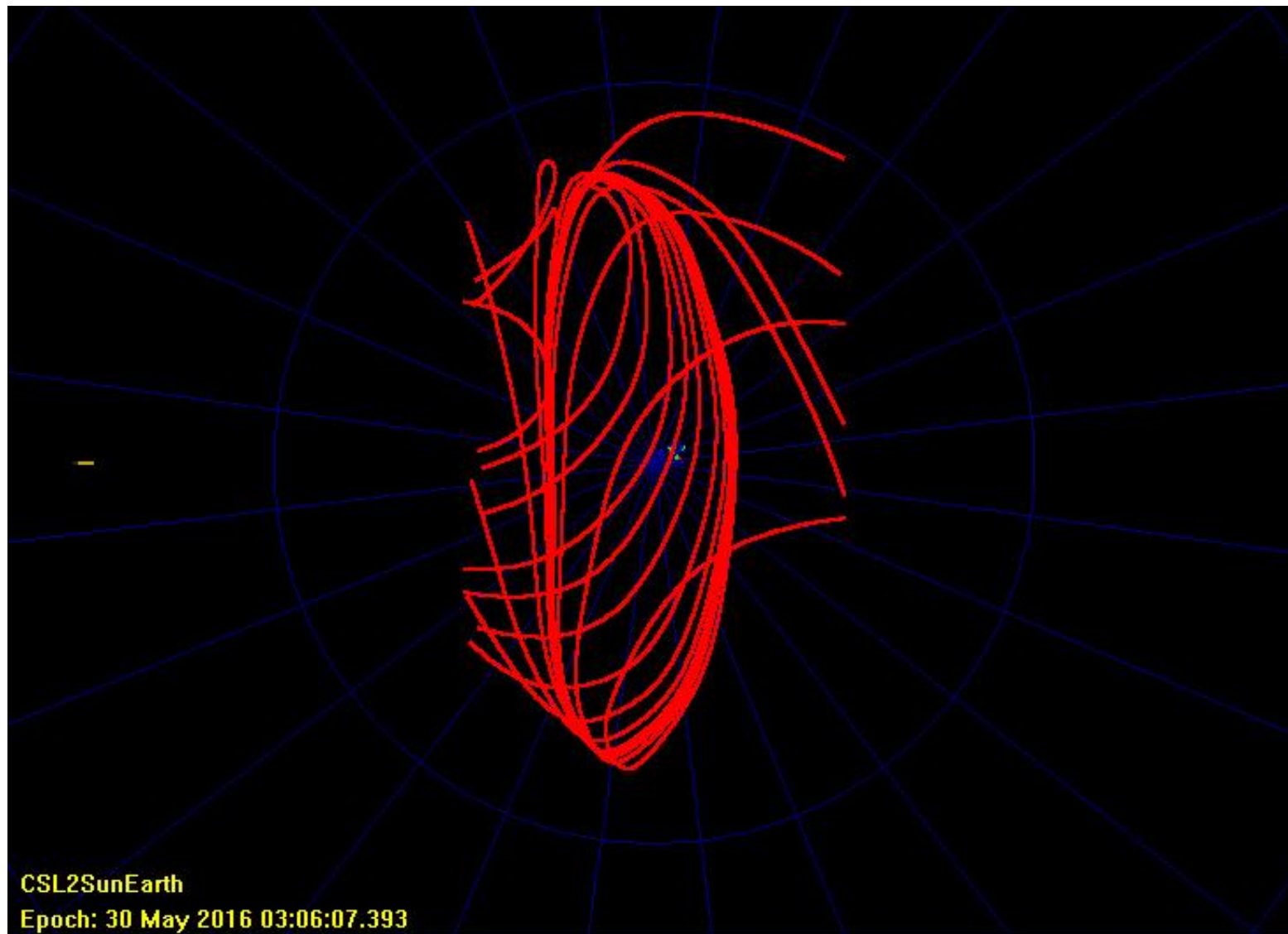
# Алгоритм поиска $V_{y0}$

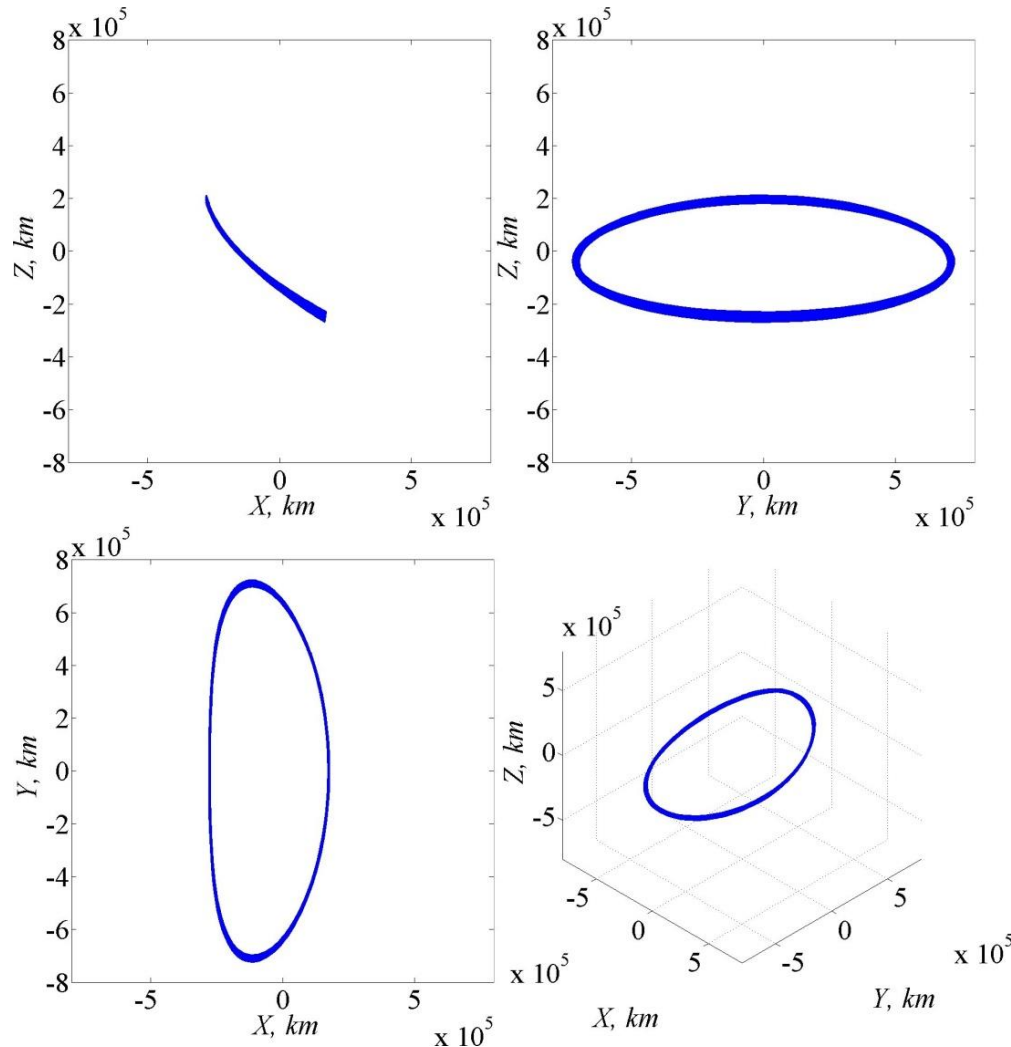




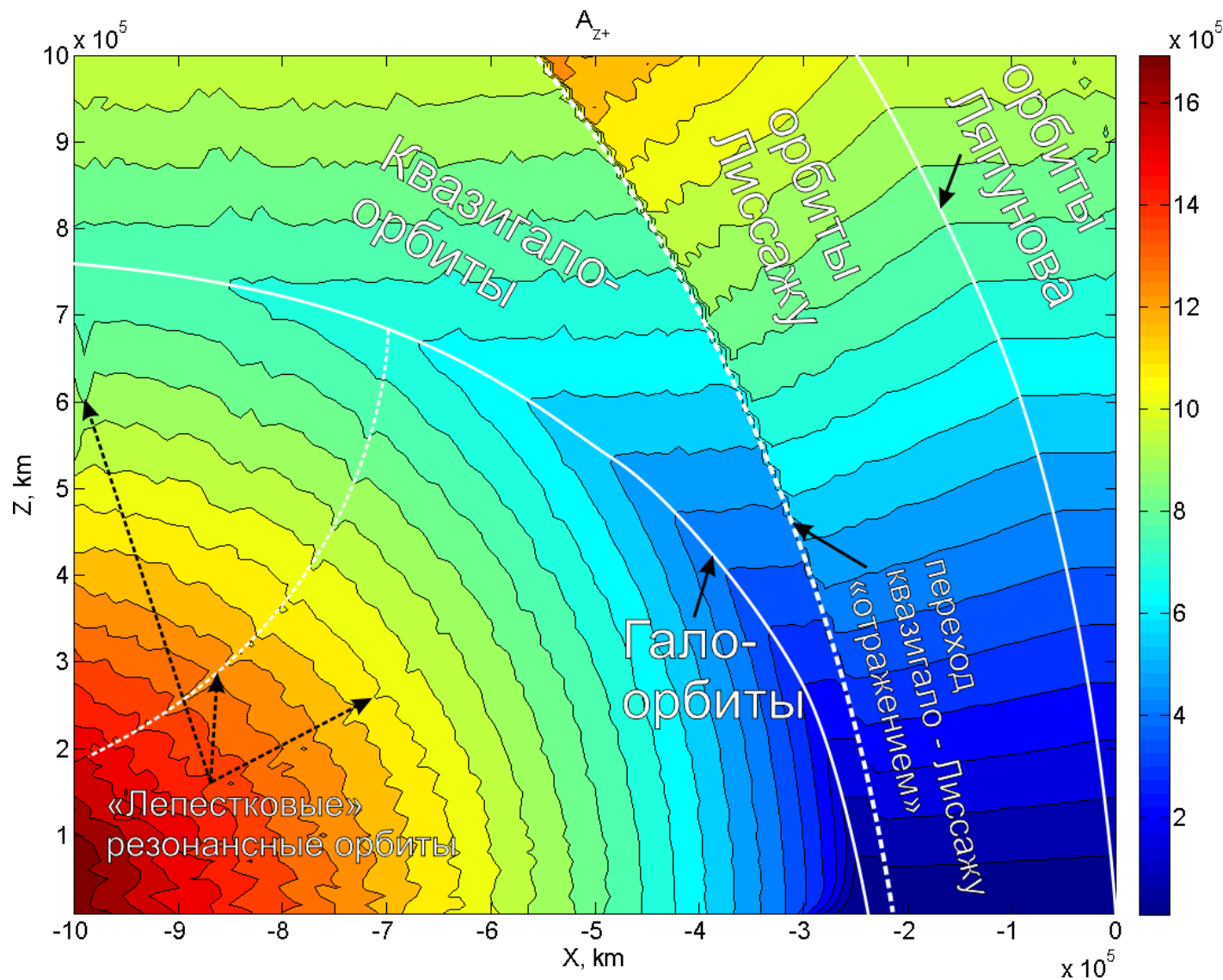


# Алгоритм поиска $V_{y0}$

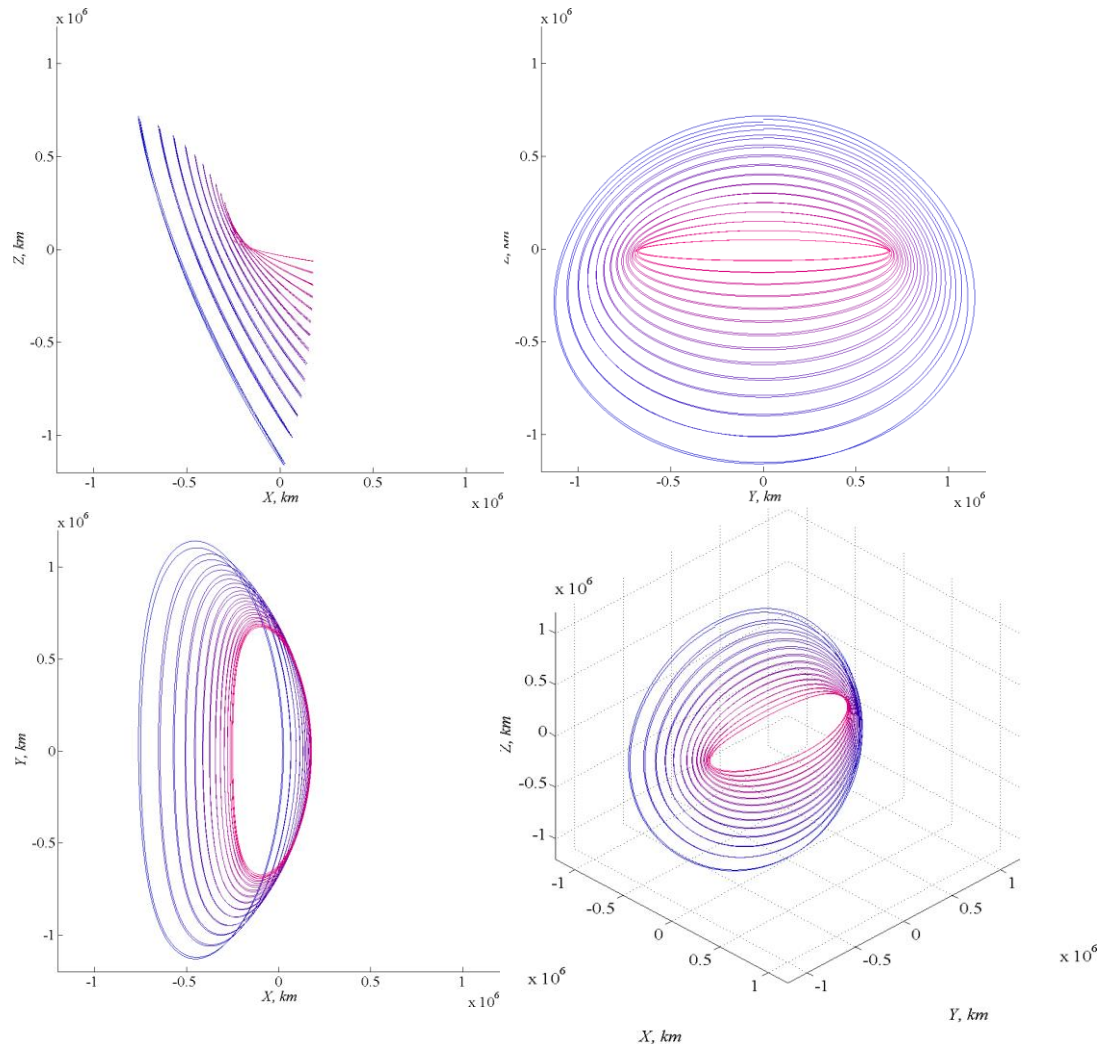




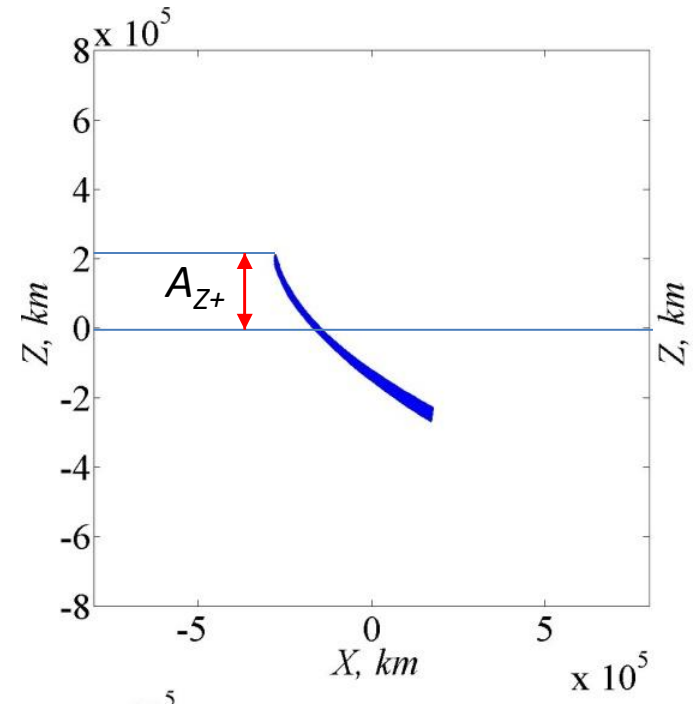
Пример южной гало-орбиты вокруг точки L2 с выходом из эклиптики около 220 тыс. км.



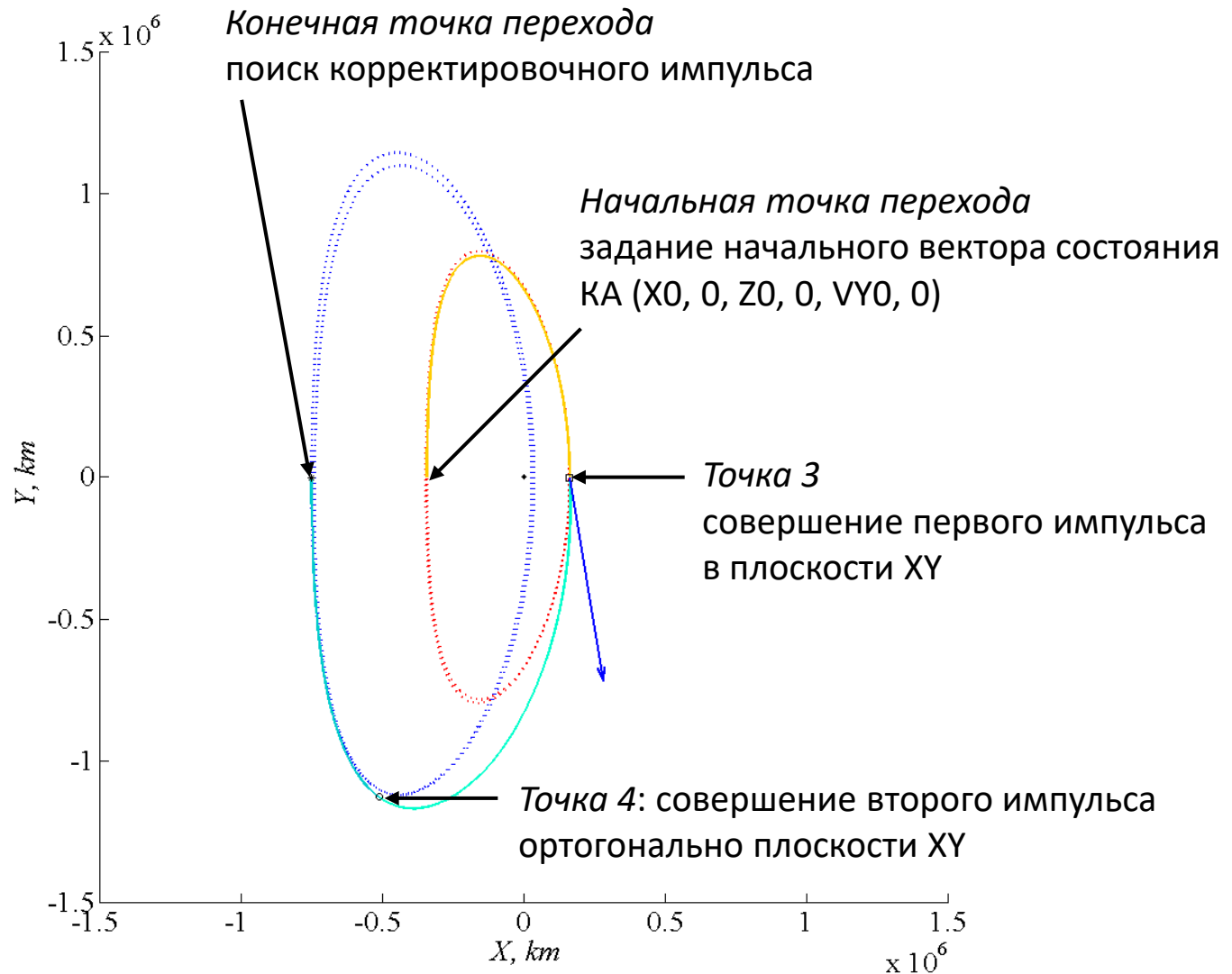
Аксенов С.А.,  
Бобер С.А.,  
Николаева Ю.А.,  
Николаев П.В.,  
Федоренко Ю.В.  
“Компьютерное  
моделирование  
движения  
космического  
аппарата в  
окрестности  
точки либрации  
L2 системы  
Солнце-Земля”  
Препринт  
ЦНИИмаш



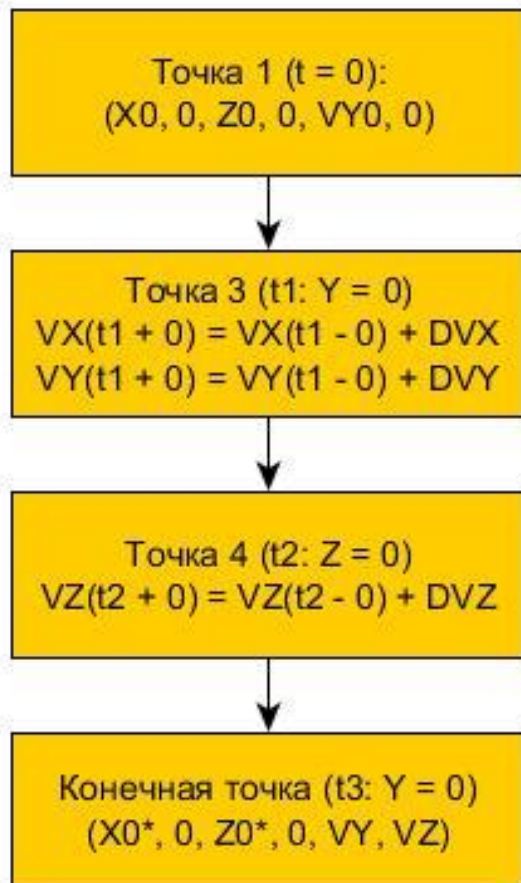
Рассматривается набор гало-орбит с выходом из эклиптики ( $Z0^*$ ) от 50 до 700 тыс. км с шагом в 50 тыс. км.



# Схема перехода «34»



Краевая задача нахождения импульсов перехода на примере стратегии «34»:



*Варьируемые параметры:*

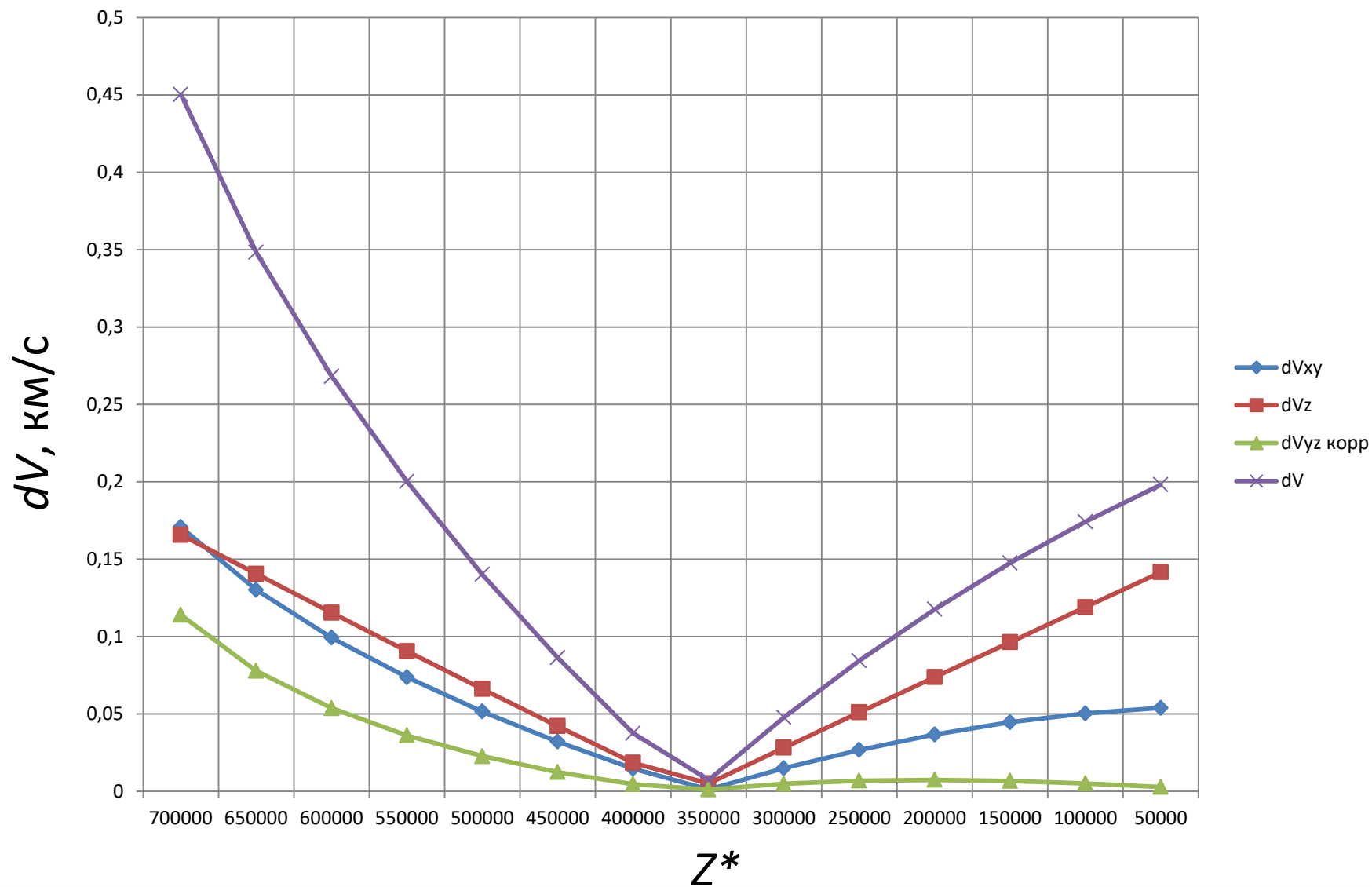
$\Delta VX, \Delta VY, \Delta VZ$  – компоненты двух импульсов

*Условия для достижения на правой границе:*

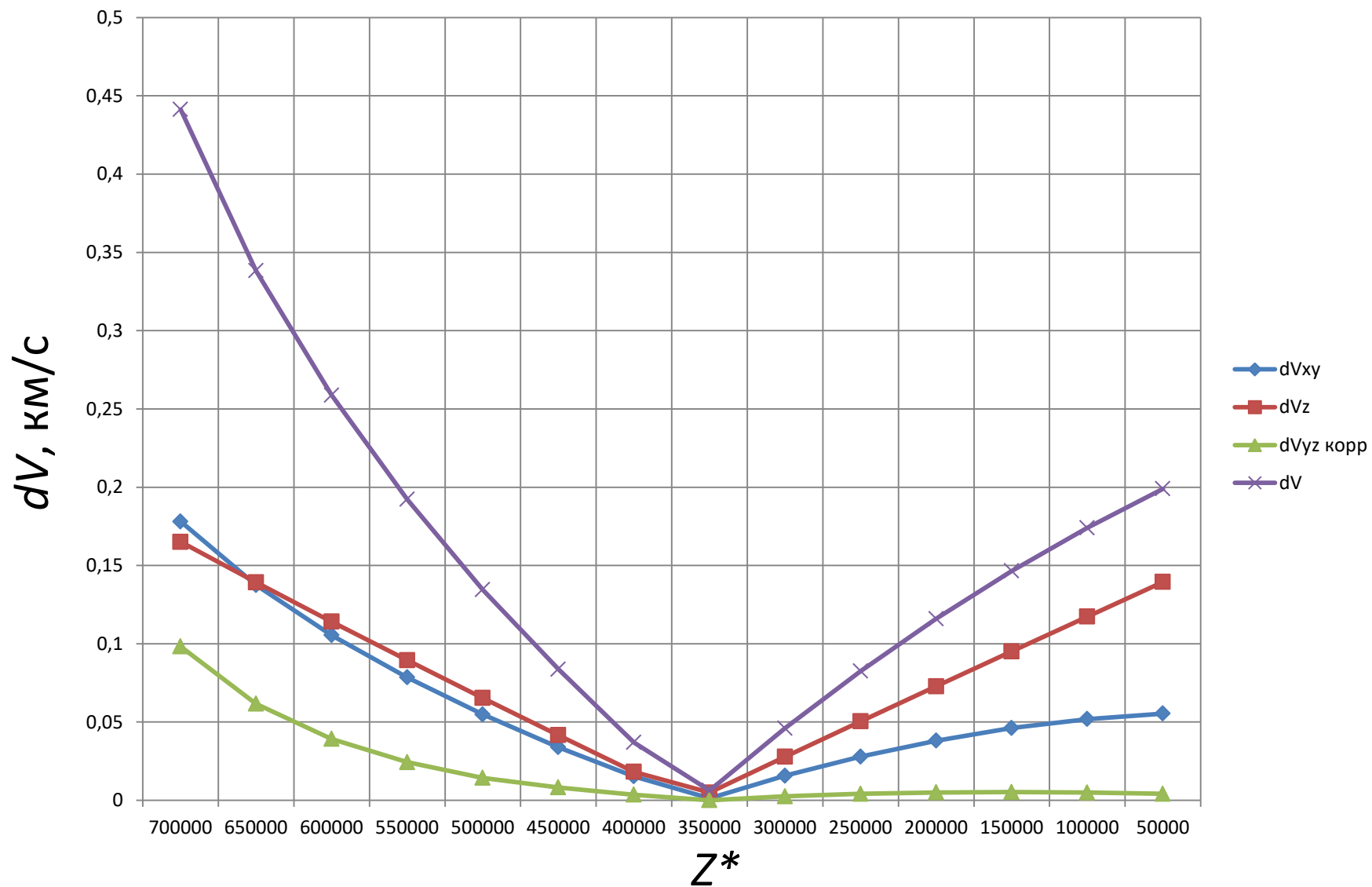
$X = X0^*, Z = Z0^*, VX = 0$

*Решение производится методом стрельбы*

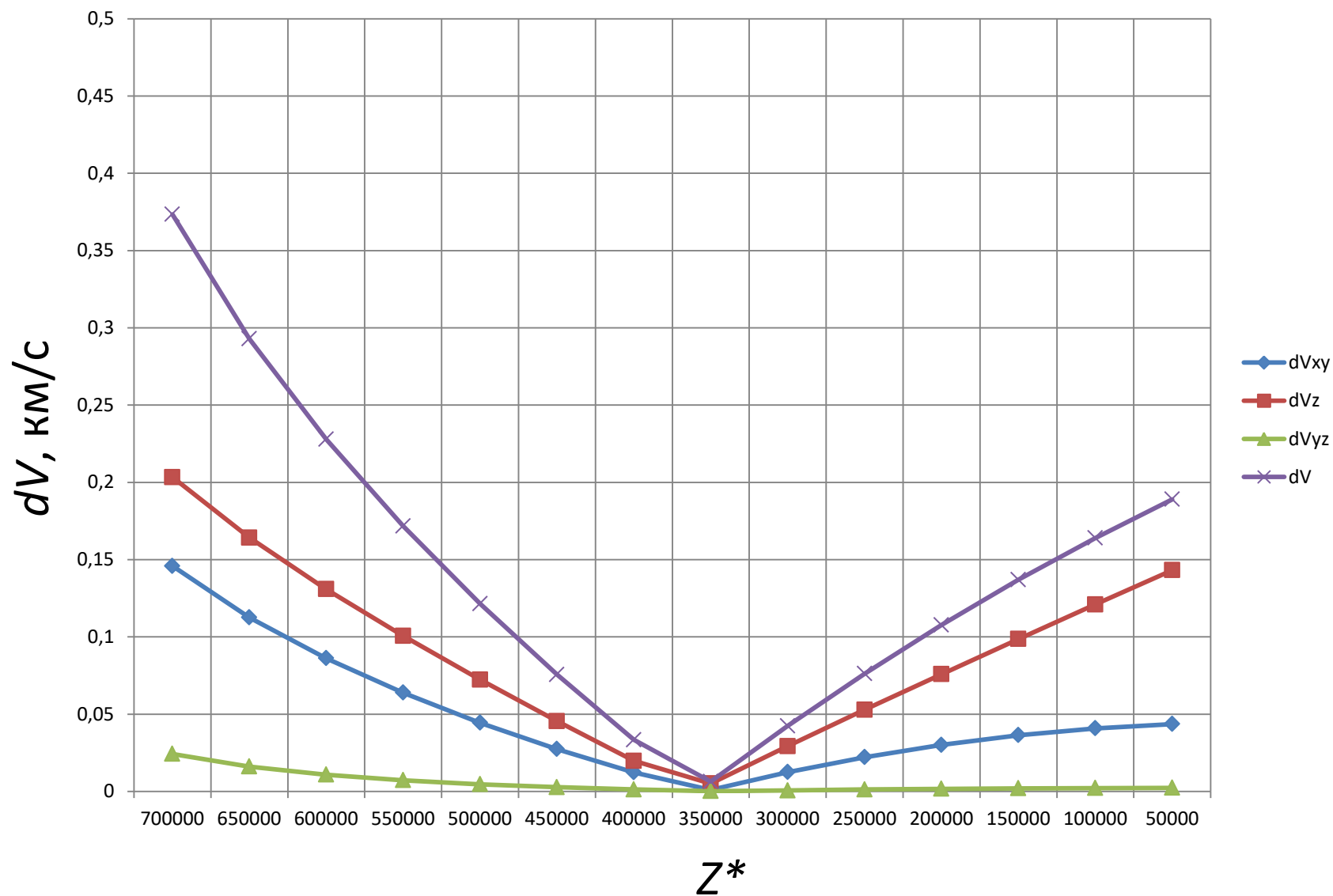
Полученный вектор скорости КА в конечной точке корректируется:  
 $(0, VY, VZ) \rightarrow (0, VY0^*, 0)$

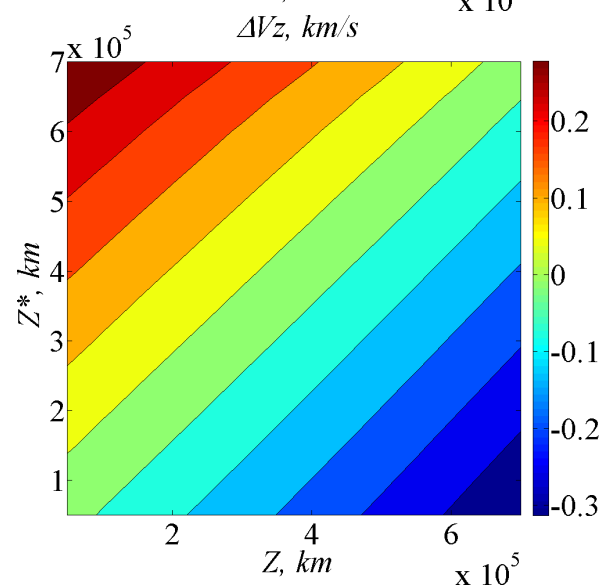
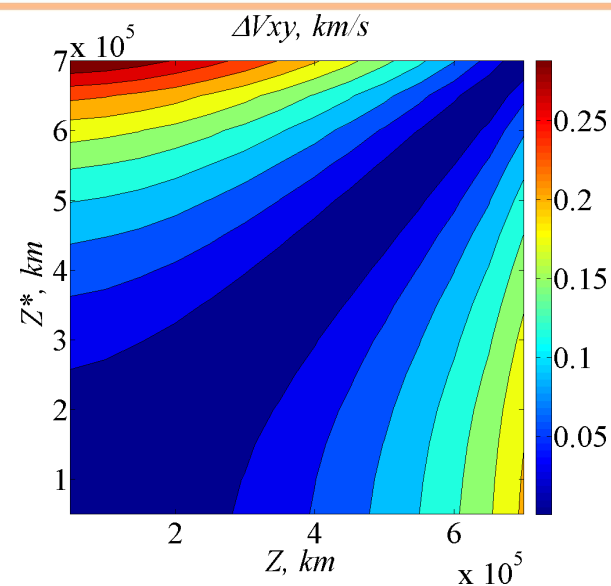
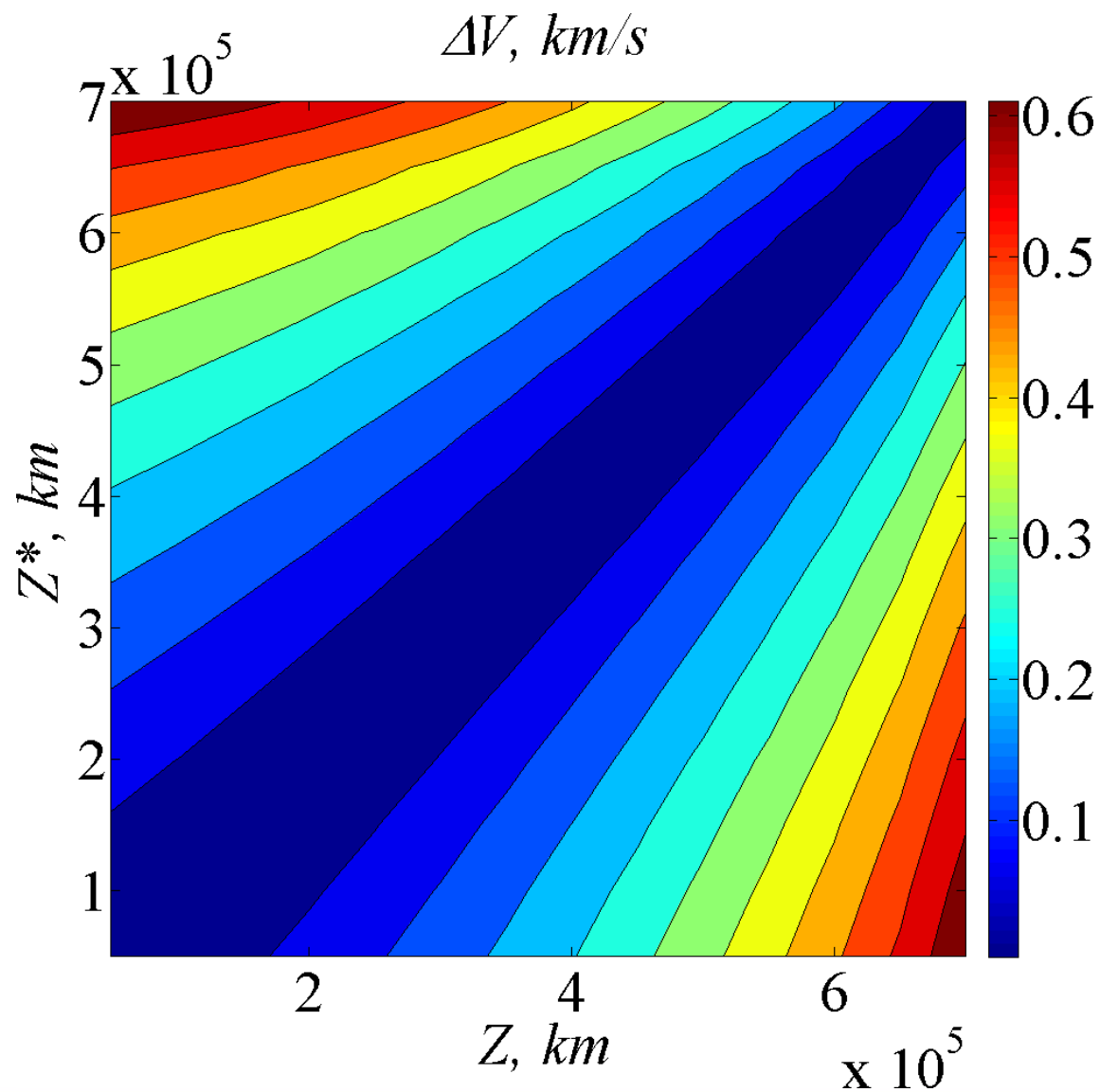






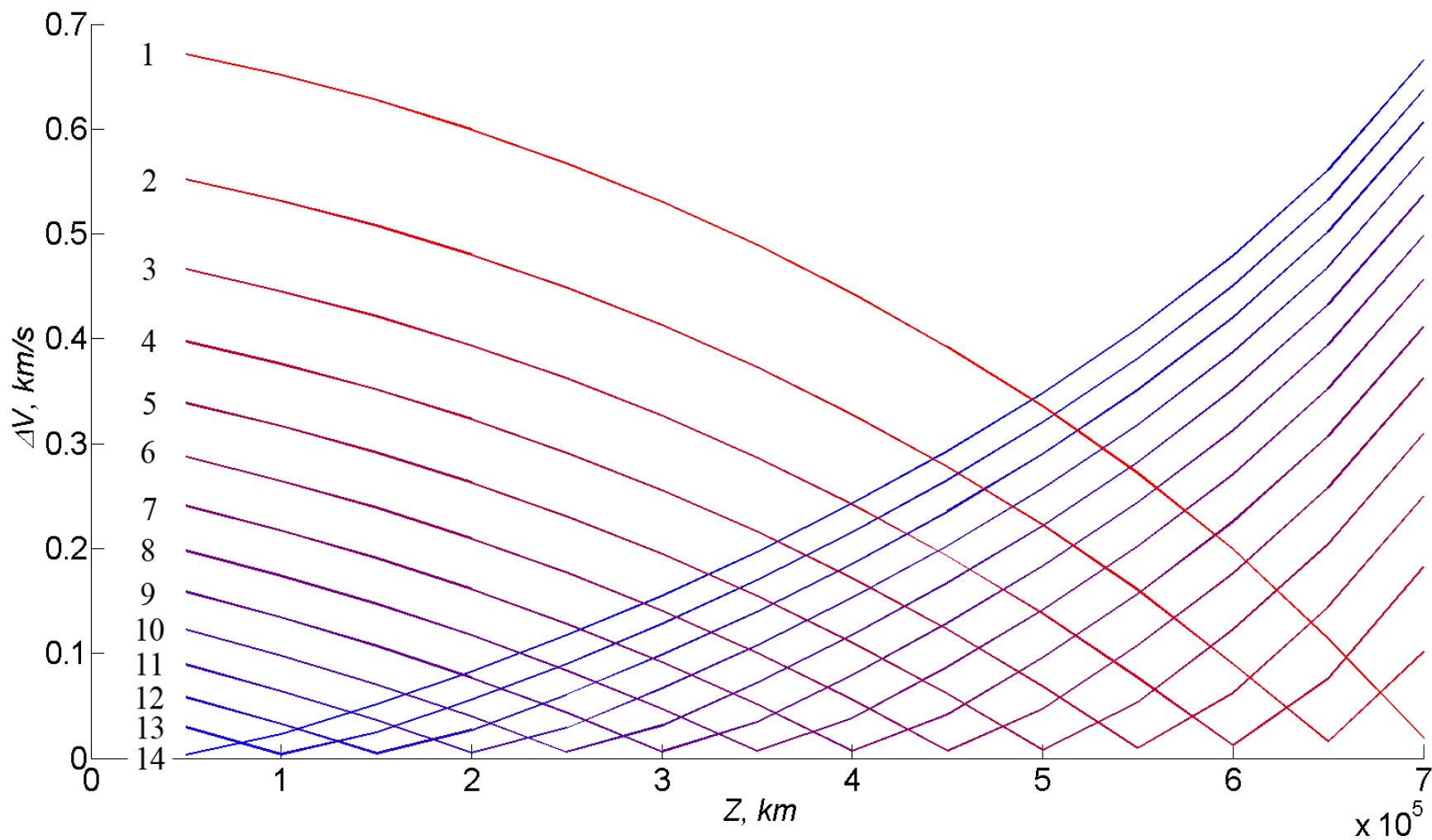


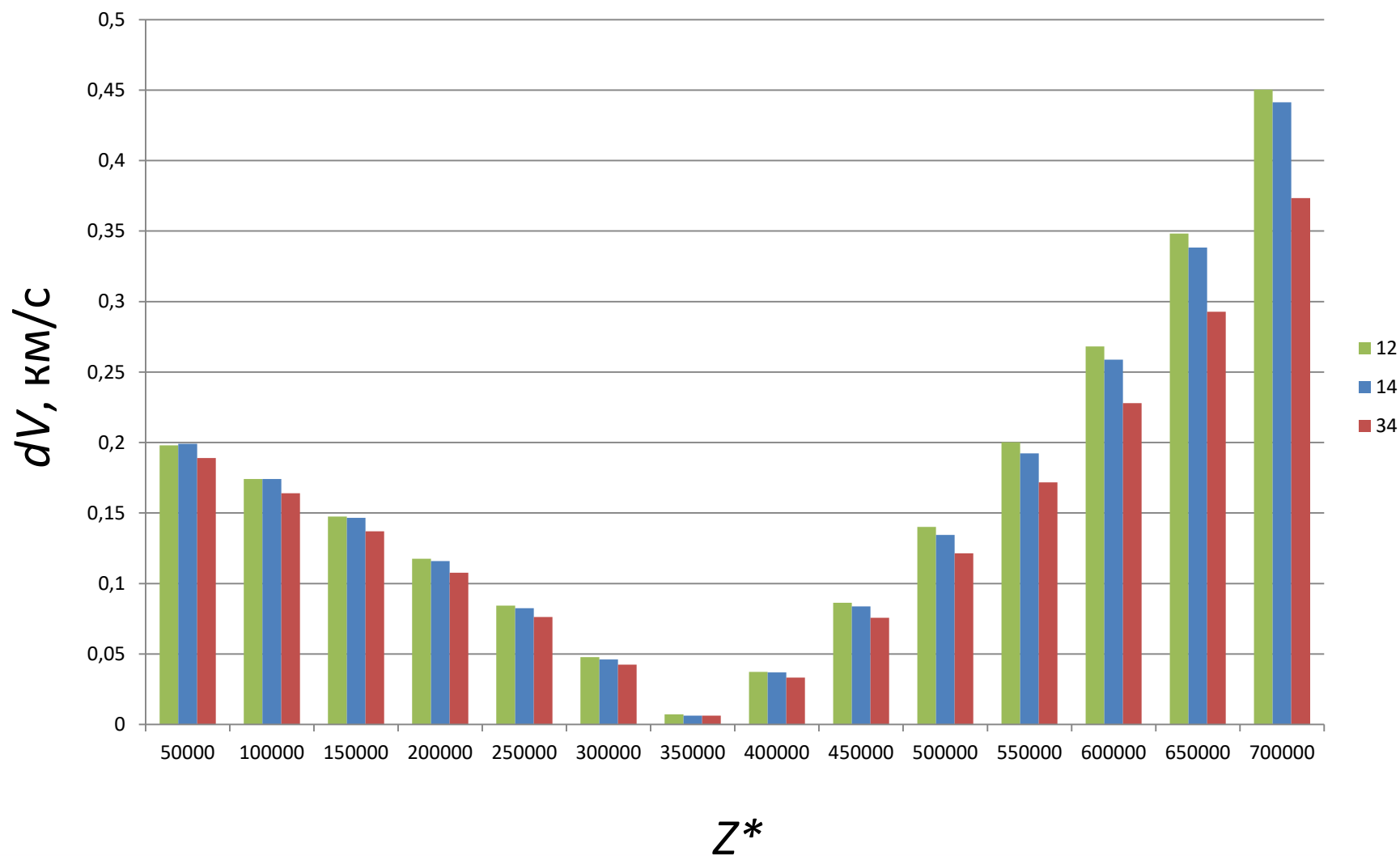






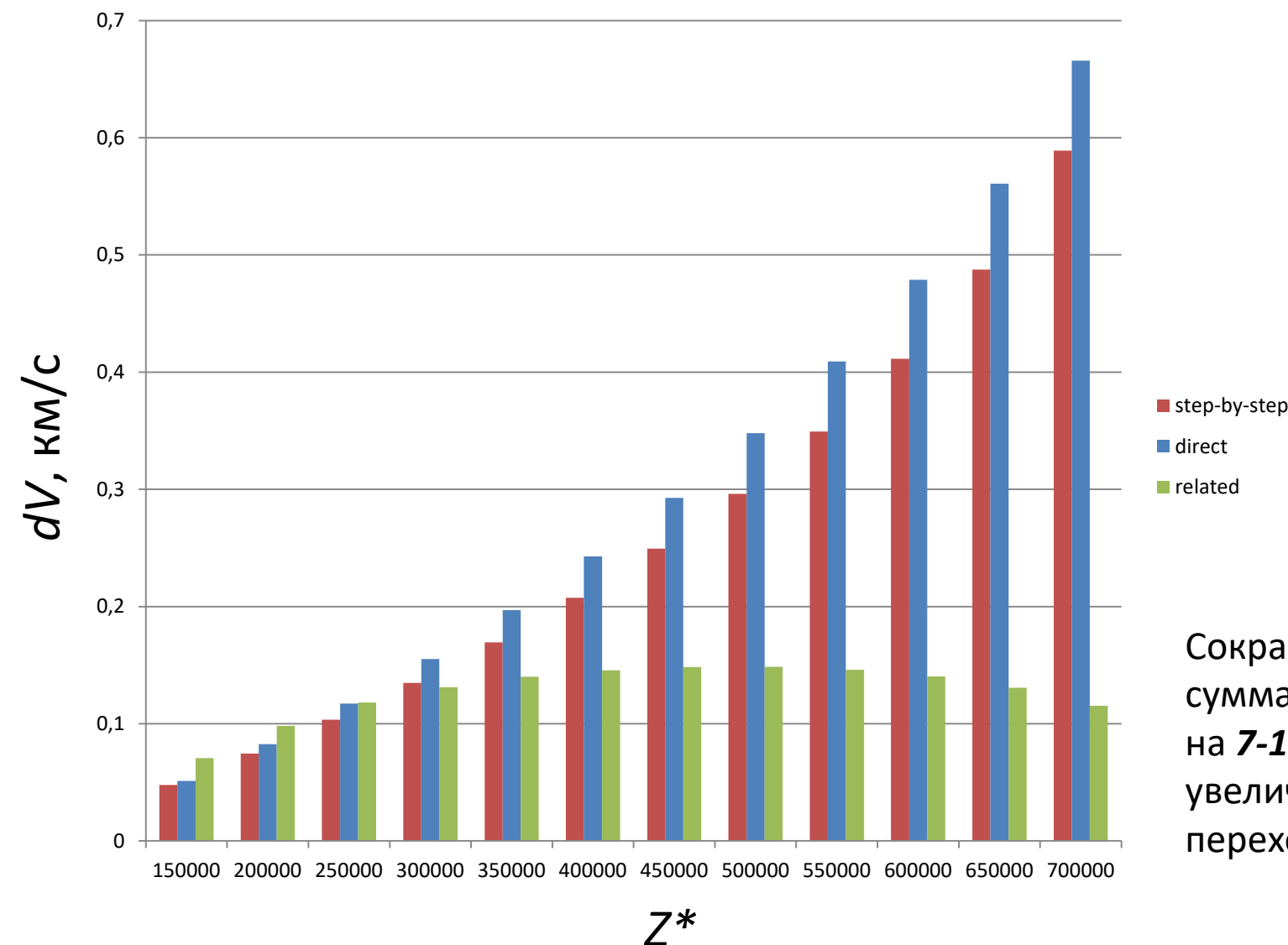
# Сечения карты $dV$







# «Пошаговые» переходы



Сокращение  
суммарного импульса  
на **7-15%** за счет  
увеличения времени  
перехода

- Использована методика расчета ограниченных орбит для построения алгоритмов вычисления компонент импульсов перехода для трех стратегий перехода
- Произведены расчеты компонент импульсов для переходов между гало-орбитами с выходом из эклиптики от 50 до 700 тыс. км
- Анализ суммарного импульса показал наиболее эффективную стратегию из рассмотренных
- Выявлена возможность «последовательного» перехода между орбитами, позволяющая снизить общие затраты импульса за счет увеличения времени перехода

**Спасибо  
за внимание!**