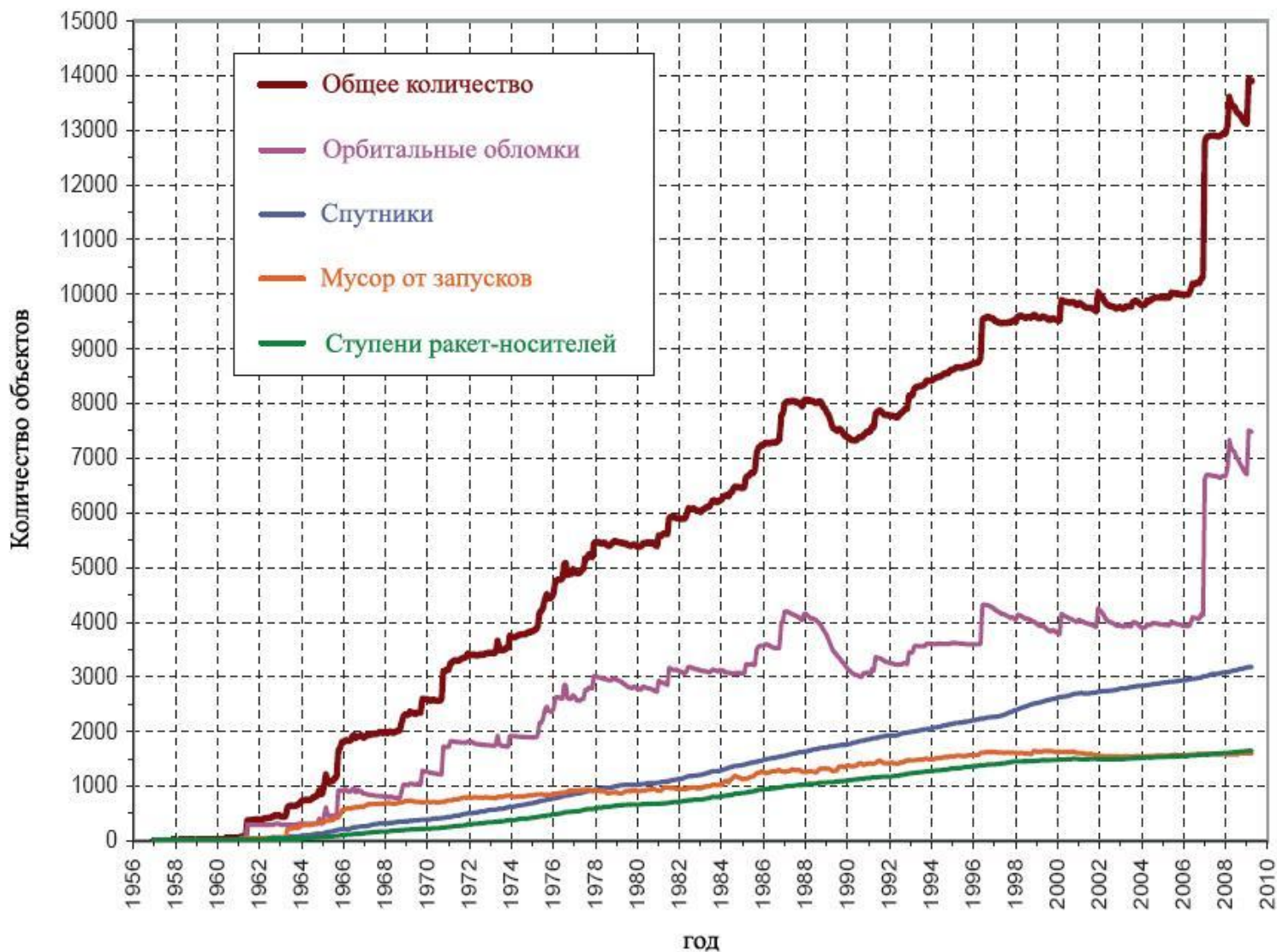




**Голубек А.В.**

**Анализ влияния увеличения численности  
околоземных космических объектов  
искусственного происхождения на безопасность  
полетов ракет космического назначения**

# Динамика изменения численности космических объектов



## *Постановка задачи*

Даны:

- Окна запуска гипотетической РКН, выводящей КА на солнечно-синхронную орбиту высотой 700 км и наклоном 98,1 град;
- Ошибки текущего положения РКН и КО распределены в соответствии с абсолютным нормальным законом распределения со средними квадратическими отклонениями (СКО) , корреляция между ошибками отсутствует;
- предельное значение функции безопасности (ФБ).

Провести анализ вероятности столкновения РКН с орбитальными объектами по каждому из окон запуска и двух сценариев развития событий (СРС):

1. Современная космическая обстановка, определяющаяся каталогами NORAD с 08.12.2008 по 13.12.2008.
2. Космическая обстановка п.1, увеличенная в 10 раз.

## *Окна запуска космического аппарата*

<b>Номер окна</b>	<b>Дата и время открытия</b>	<b>Дата и время закрытия</b>
1	14.12.2008 10:33:59	14.12.2008 10:44:00
2	15.12.2008 10:11:29	15.12.2008 10:16:02
3	16.12.2008 09:45:42	16.12.2008 09:55:42
4	17.12.2008 09:23:11	17.12.2008 09:28:22
5	18.12.2008 08:57:27	18.12.2008 09:07:27
6	19.12.2008 08:34:56	19.12.2008 08:44:56
7	20.12.2008 08:09:13	20.12.2008 08:19:12
8	21.12.2008 07:46:41	21.12.2008 07:56:41
9	22.12.2008 07:20:58	22.12.2008 07:30:57
10	23.12.2008 06:58:26	23.12.2008 07:08:26

## *Введённые предположения*

1. Космическая обстановка считается постоянной, то есть не появляются новые КО и не прекращают существование старые.
2. Все объекты считаются пассивными, не выполняющими манёвров для поддержания орбиты или для исполнения заданной миссии.
3. Объекты, орбита которых располагается ниже границы плотных слоёв атмосферы, исключаются из расчётов, как прекратившие свое существование.
4. В одной точке траектории ракеты-носителя возможно столкновение только с одним КО.
5. Предельные отклонения координат текущего положения ракеты-носителя и космического объекта независимы.

## *Алгоритм оценки вероятности столкновения с космическими объектами*

1. Расчёт траектории РКН.
2. Выбор «опасных» КО.
3. Анализ совместного движения РКН и КО по каждому окну, расчёт вероятности столкновения и её функции распределения.
4. Выбор закона распределения вероятности столкновения и расчёт его параметров по каждому из окон.
5. Расчёт функции безопасности.

## *Выбор «опасных» космических объектов*

1. По максимальному расчётному значению импульса КО.

$$I \geq I^*$$

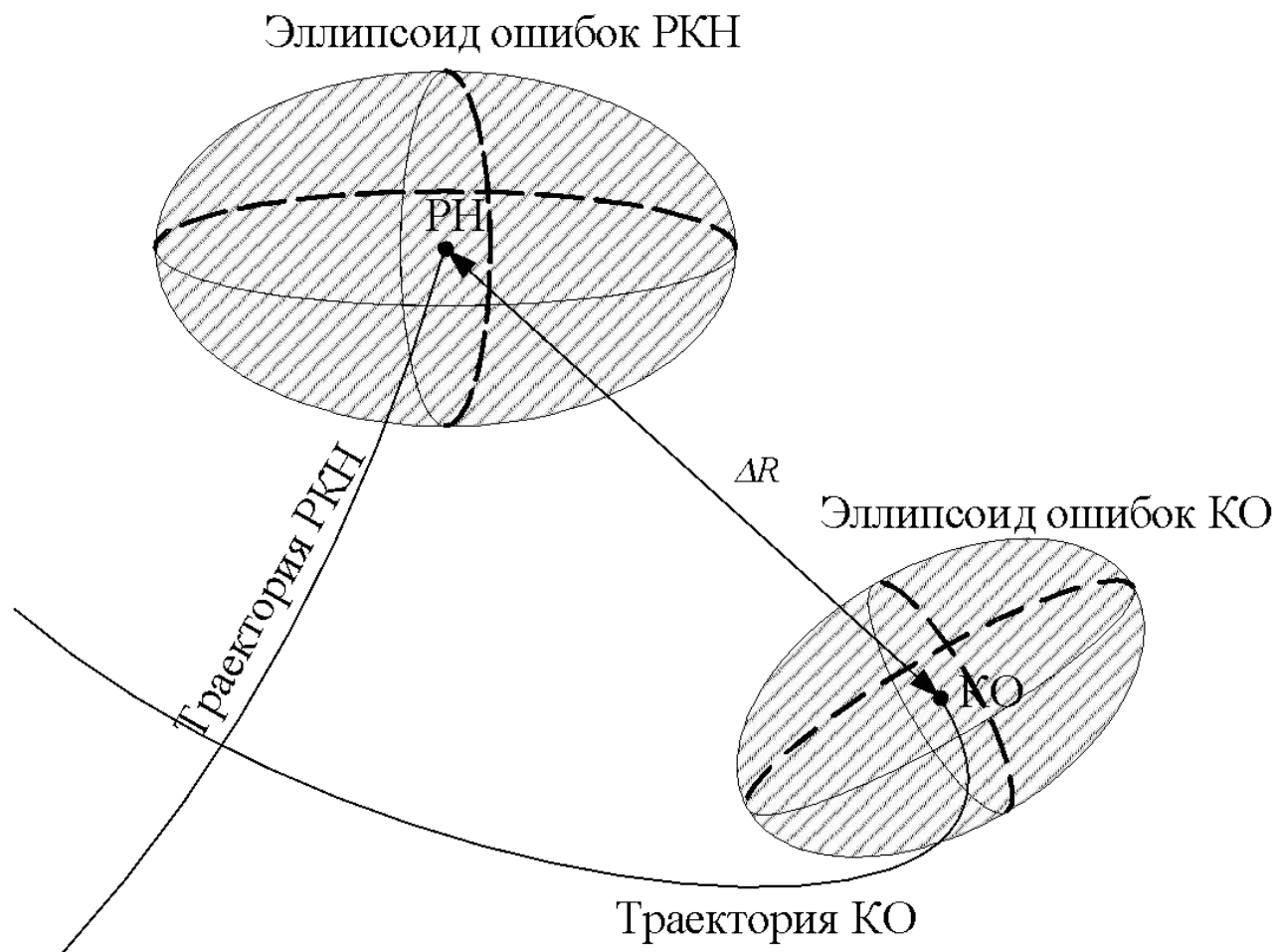
2. По минимальному значению баллистического коэффициента КО.

$$v \leq v^*$$

3. По высоте перигея КО.

$$R_{MAX} \geq R_{П}$$

# Расчёт вероятности столкновения ракеты космического назначения с космическим объектом





Относительное расстояние между субъектами столкновения в k-й точке

$$\begin{bmatrix} \Delta R_{X_3} \\ \Delta R_{Y_3} \\ \Delta R_{Z_3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} |R_{X_3}^{PH} - R_{X_3}^{KO}| \\ |R_{Y_3}^{PH} - R_{Y_3}^{KO}| \\ |R_{Z_3}^{PH} - R_{Z_3}^{KO}| \end{bmatrix}$$

Ковариационная матрица

$$K_{\Sigma} = K_{PH} + K_{KO}$$

Вероятность столкновения в k-й точке

$$P_{C_{ij}} = 1 - \frac{\sqrt{8}}{\sqrt{\pi^3 \sigma_{\Sigma}^3}} \int_0^{\Delta R_x} \int_0^{\Delta R_y} \int_0^{\Delta R_z} \exp\left[-\frac{\lambda^2 + \mu^2 + \nu^2}{2\sigma_{\Sigma}^2}\right] d\lambda d\mu d\nu$$

Вероятность столкновения РКН с КО в рассматриваемой точке траектории

$$P_{C_i} = 1 - \prod_{\chi=0}^i \left[ 1 - \prod_{j=1}^M (1 - P_{C_{\chi j}}) \right]$$

# Функция безопасности

Функция безопасности в дискретном виде

$$F = \sum_{i=1}^{n_{\tau_j}} \sum_{k=1}^{n_t} P_{3_j}(t_k, \tau_i)$$

Распределение случайной величины  $z$

$$P_{3_j}(t, \tau) = \int_0^{\Psi(t, \tau)} f(z) dz \quad z = \Psi[t, \varphi_1(\tau), \dots, \varphi_{N_\Phi}(\tau)] \quad \varphi_i(\tau) = \begin{cases} k_{i,1} \cdot \tau + b_{i,1} & \tau_0 < \tau \leq \tau_1 \\ \square & \\ k_{i,N_\tau} \cdot \tau + b_{i,N_\tau} & \tau_{N_\tau-1} < \tau \leq \tau_{N_\tau} \end{cases}$$

Функция безопасности в непрерывном виде

$$F = \int_{t_{ATM}}^{t_O} \int_{\tau_{H_j}}^{\tau_{K_j}} \int_0^{\Psi[t, \varphi_1(\tau), \dots, \varphi_{N_\Phi}(\tau)]} f(z) dz d\tau dt$$

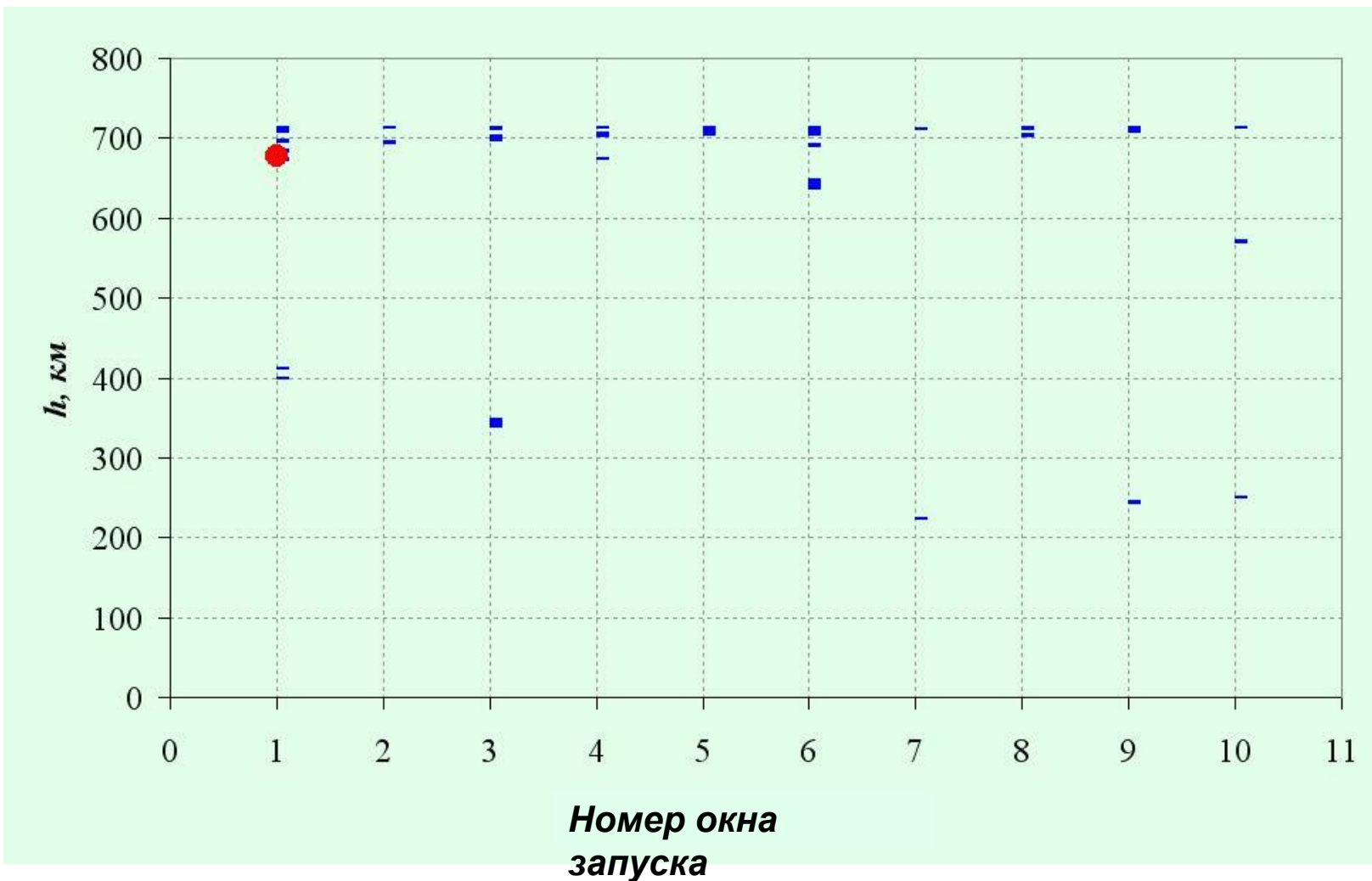
## *Количество «опасных» космических объектов*

<b>Номер окна</b>	<b>Количество «опасных» КО</b>		<b>Количество пересечений с орбитой «опасных» КО</b>	
	<b>СРС №1</b>	<b>СРС №2</b>	<b>СРС №1</b>	<b>СРС №2</b>
1	3121	31210	8	83
2	3099	31188	3	44
3	3069	31158	11	66
4	3053	31142	6	46
5	3044	31133	5	85
6	3034	31123	10	85
7	3030	31119	3	68
8	3030	31119	5	78
9	3024	31113	7	75
10	3013	31102	4	65

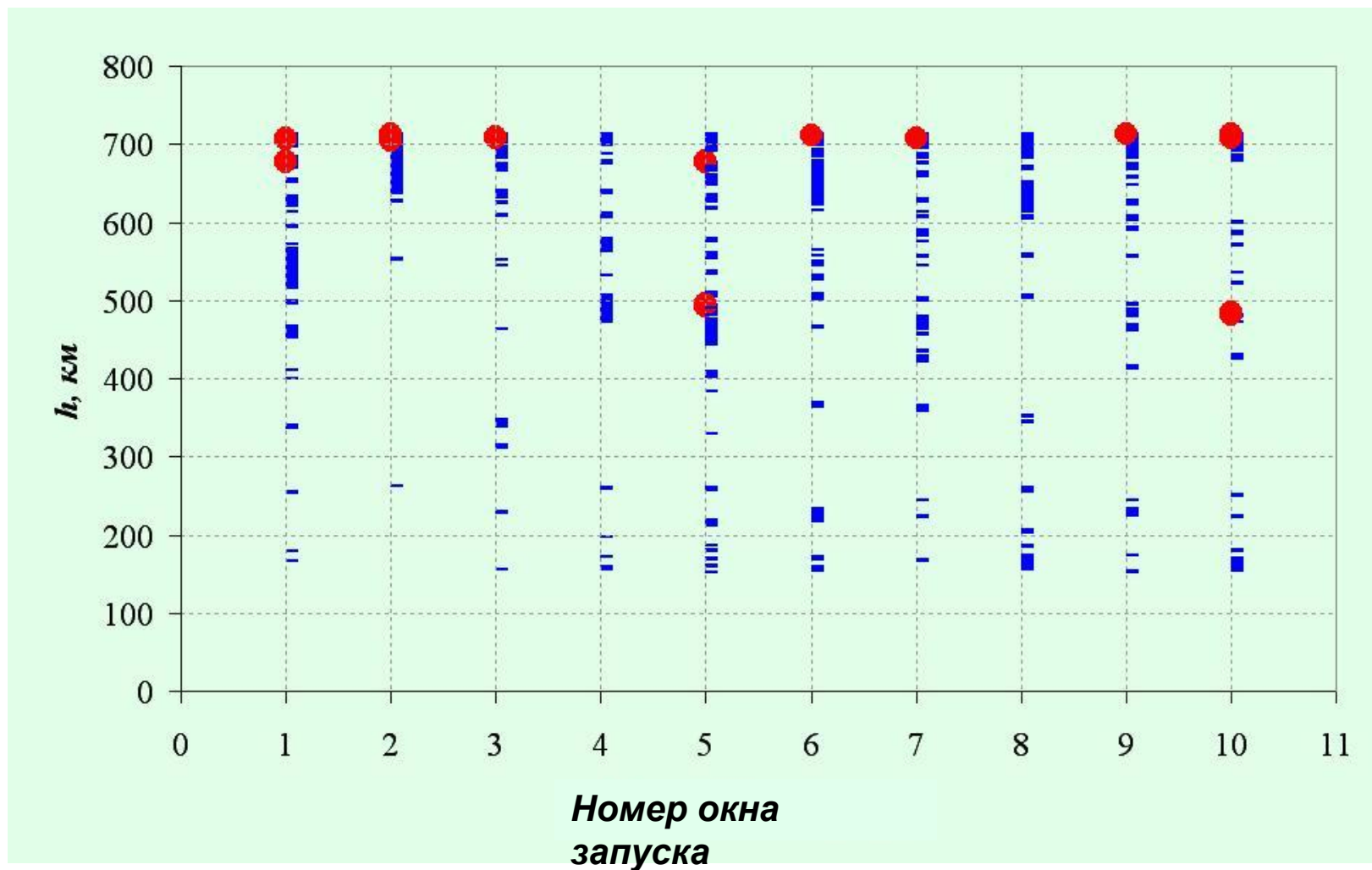
## *Функция безопасности*

Номер окна	Количество КО с которыми выявлены возможные столкновения		ФБ	
	СРС №1	СРС №1	СРС №1	СРС №1
1	1	2	0	0
2	0	3	0	7877
3	0	3	0	16479
4	0	0	0	0
5	0	2	0	26680
6	0	2	0	0
7	0	1	0	1654
8	0	0	0	0
9	0	1	0	41
10	0	3	0	3584

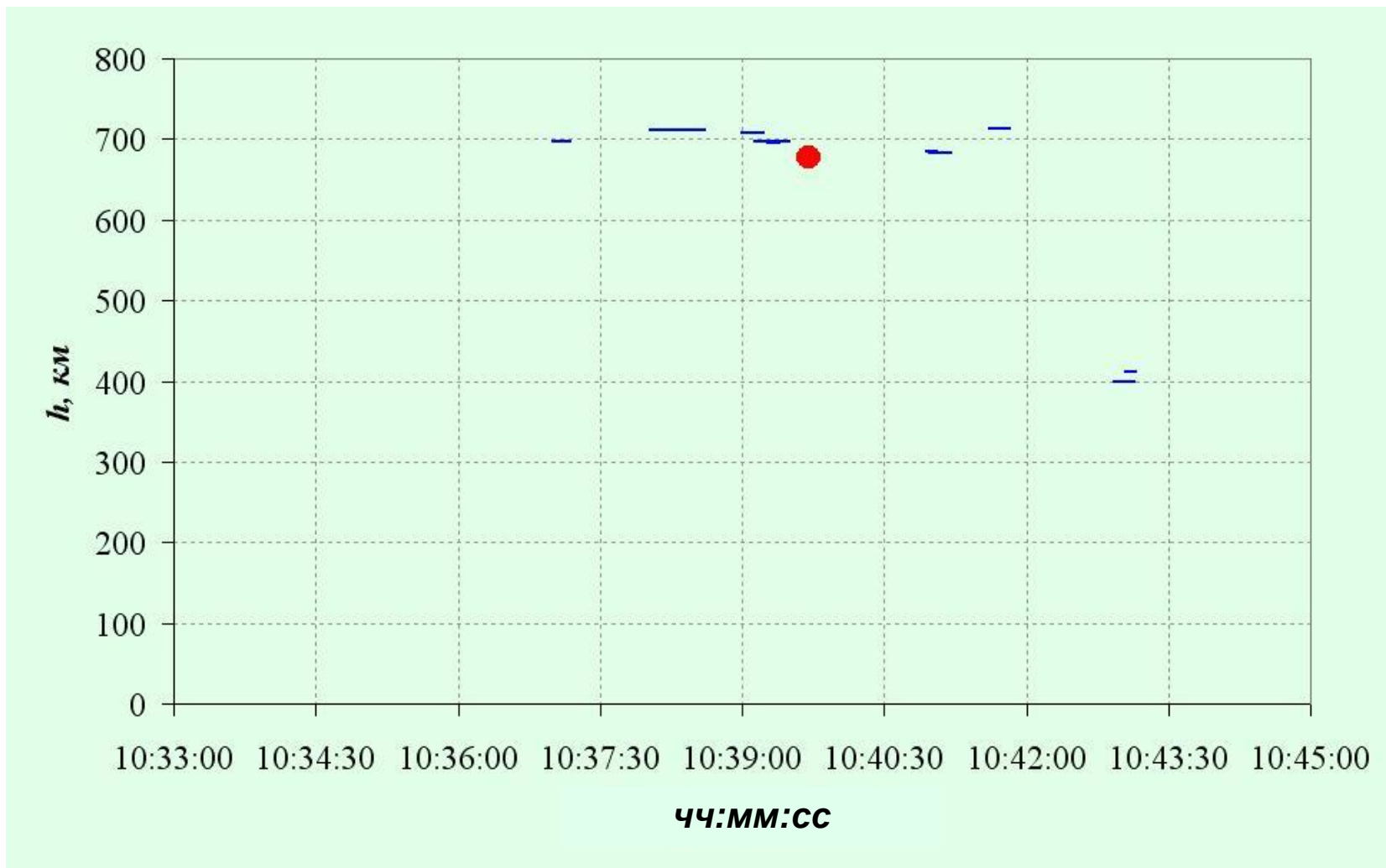
# Сводная диаграмма пересечений траекторий и опасных сближений, сценарий №1



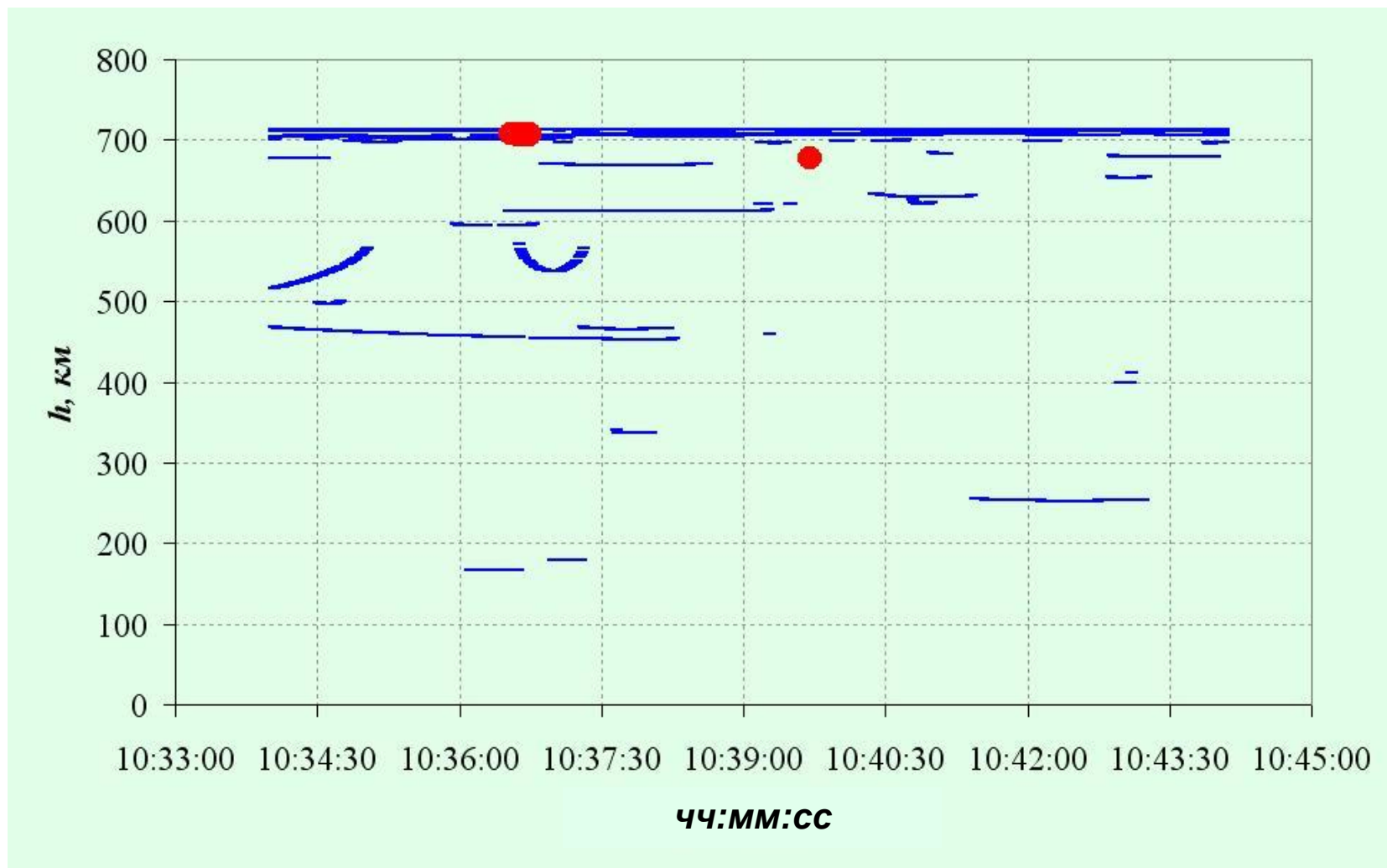
## *Сводная диаграмма пересечений траекторий и опасных сближений, сценарий №2*



*Диаграмма пересечений траекторий и опасных сближений, окно №1 сценарий №1*



*Диаграмма пересечений траекторий и опасных сближений, окно №1 сценарий №2*

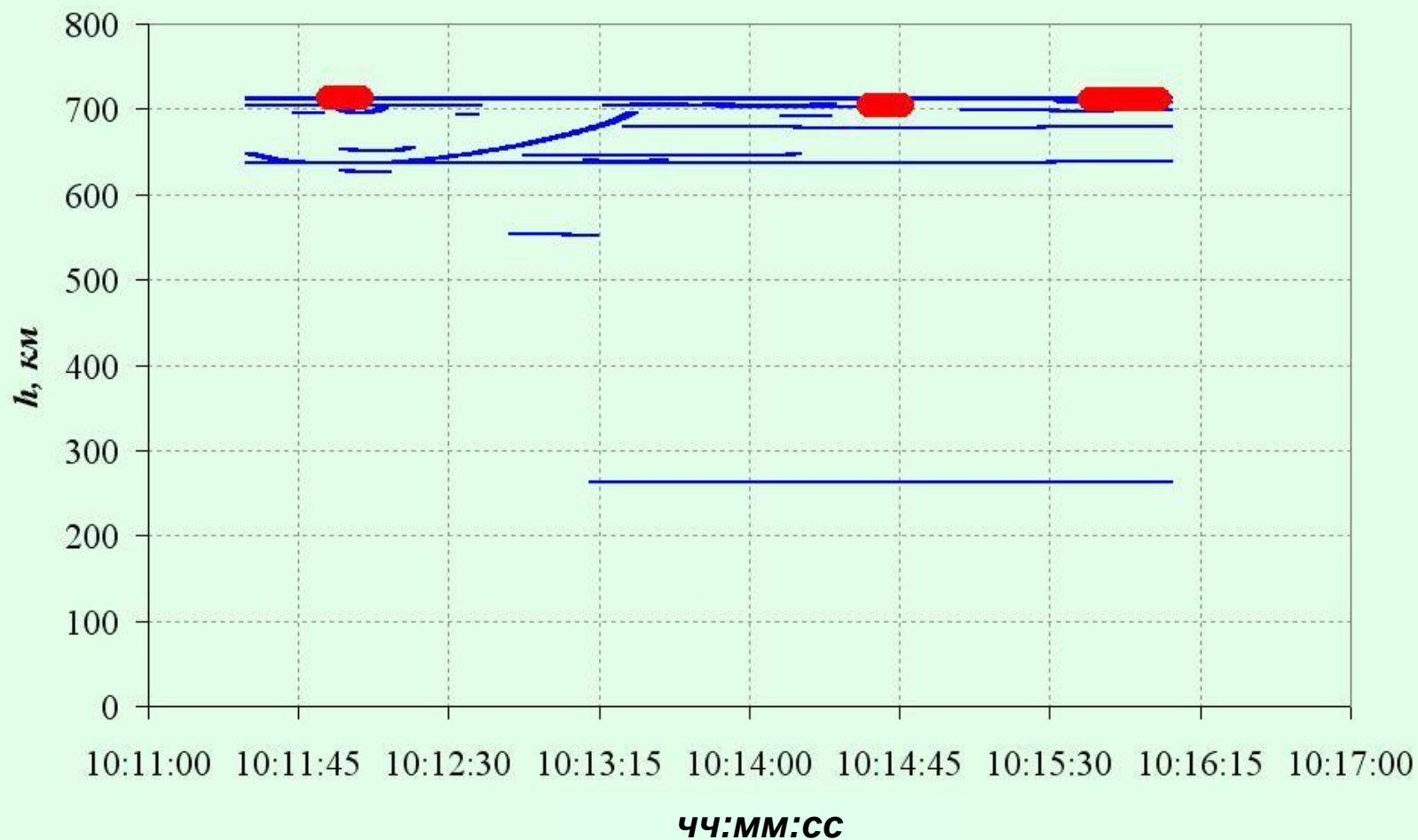




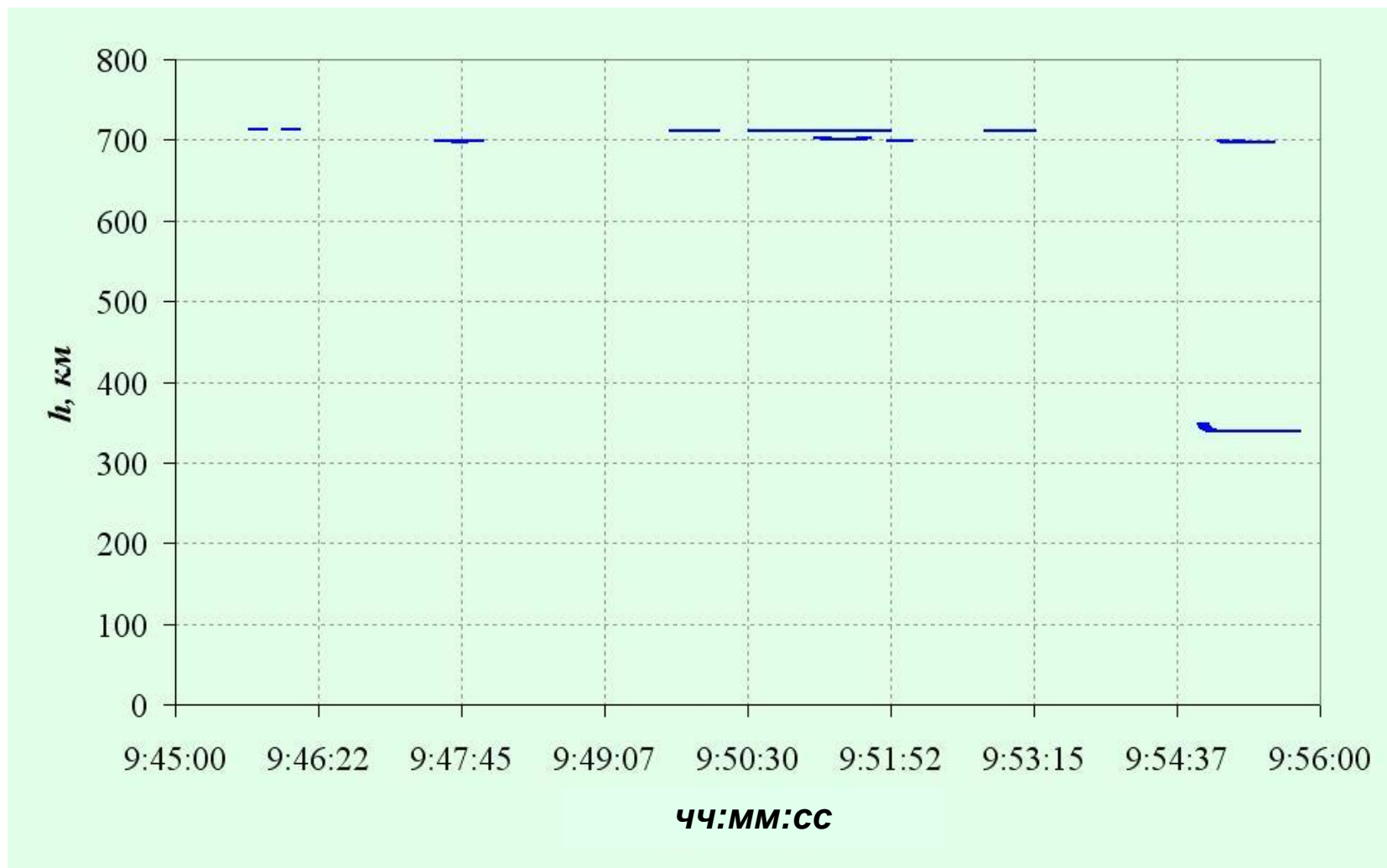
*Диаграмма пересечений траекторий и опасных сближений, окно №2 сценарий №1*



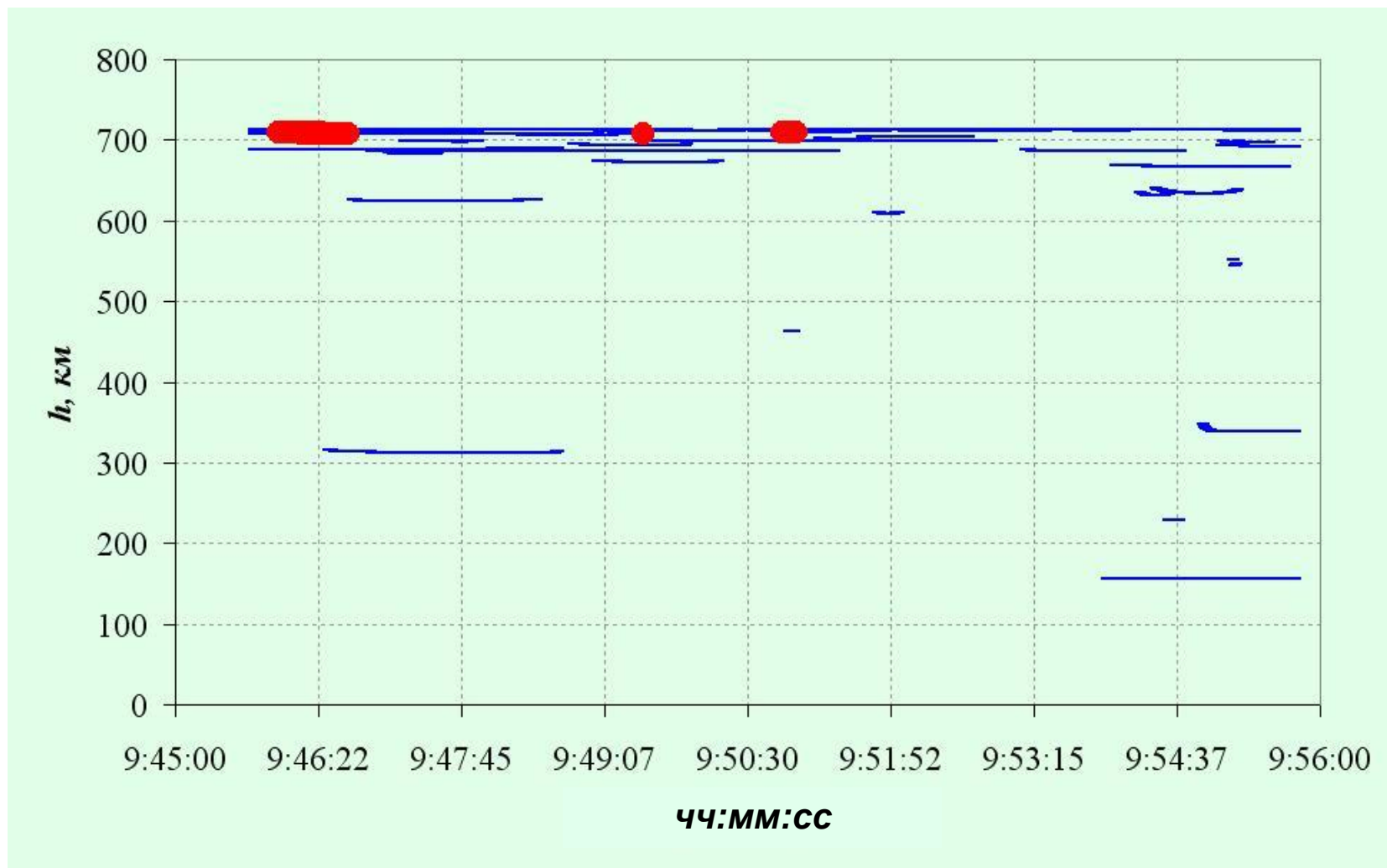
*Диаграмма пересечений траекторий и опасных сближений, окно №2 сценарий №2*



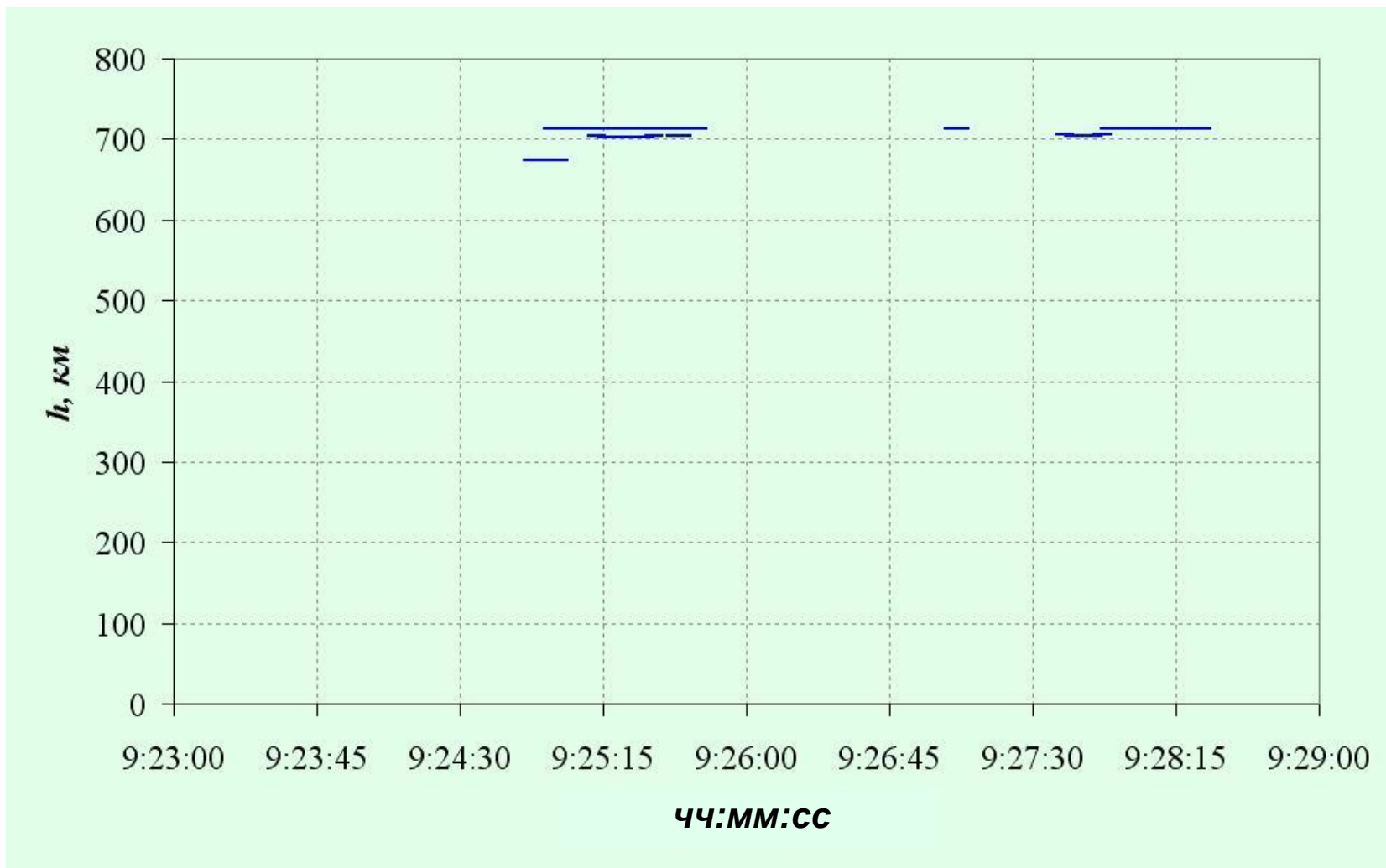
*Диаграмма пересечений траекторий и опасных сближений, окно №3 сценарий №1*



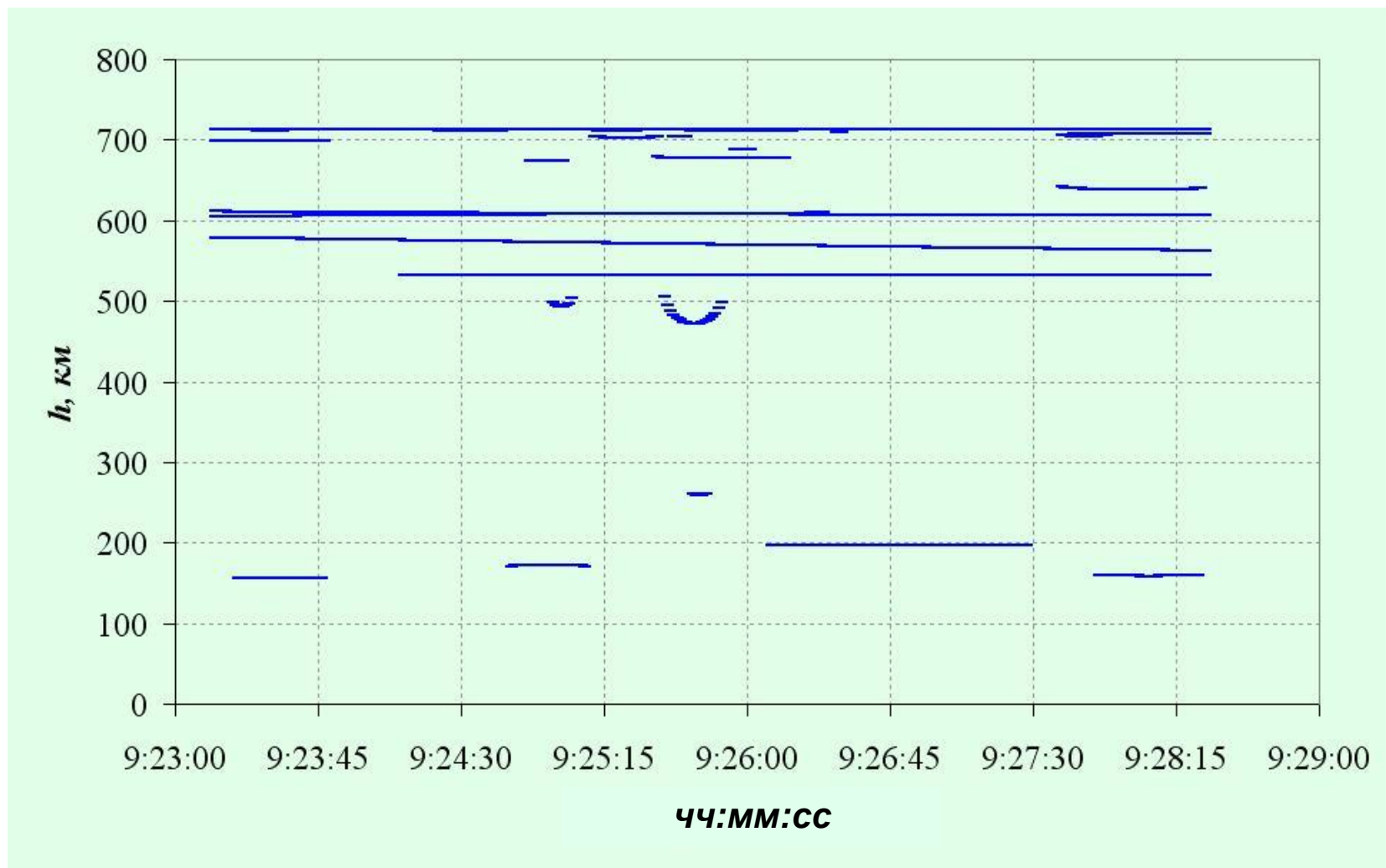
*Диаграмма пересечений траекторий и опасных сближений, окно №3 сценарий №2*



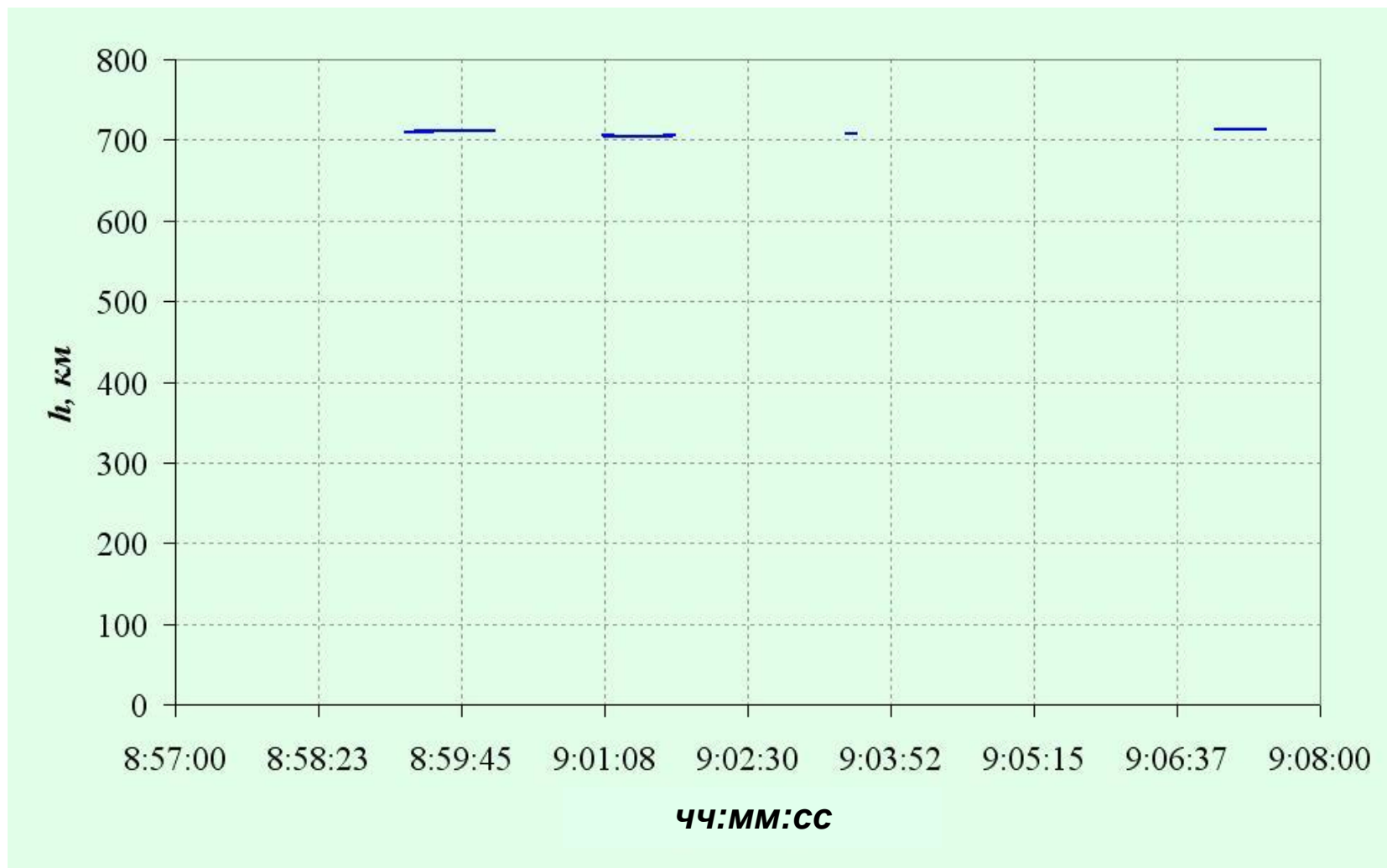
*Диаграмма пересечений траекторий и опасных сближений, окно №4 сценарий №1*



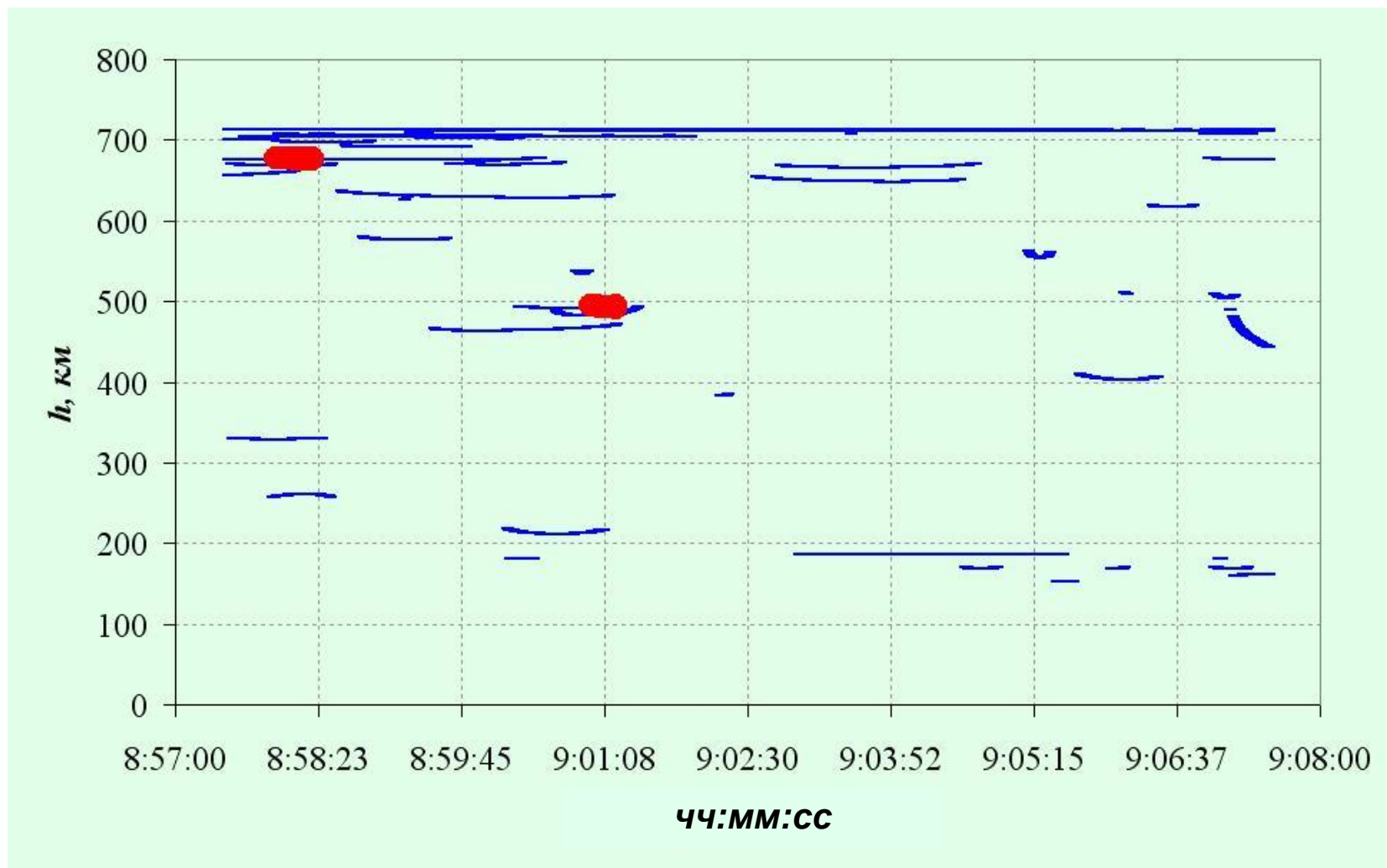
*Диаграмма пересечений траекторий и опасных сближений, окно №4 сценарий №2*



*Диаграмма пересечений траекторий и опасных сближений, окно №5 сценарий №1*

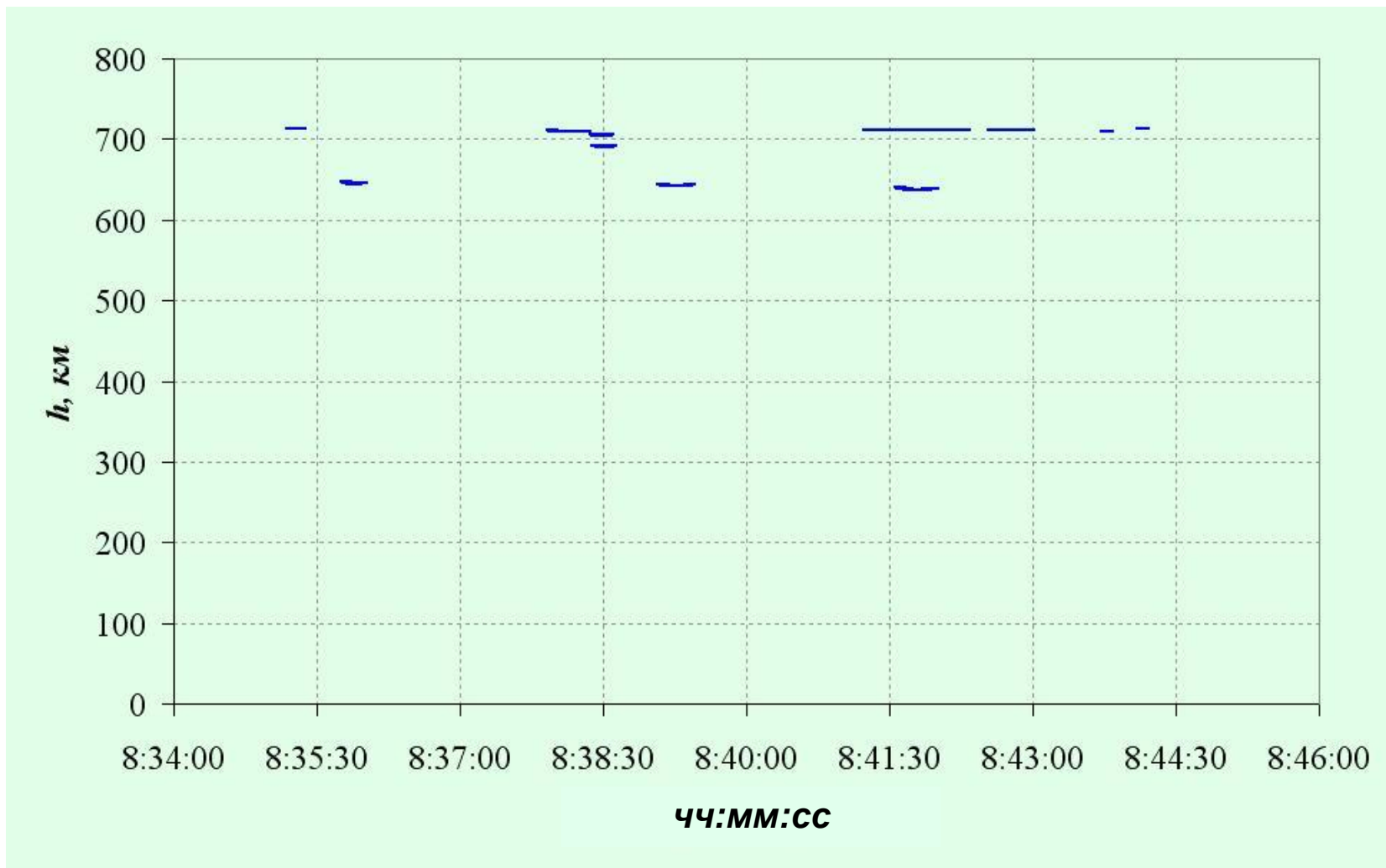


*Диаграмма пересечений траекторий и опасных сближений, окно №5 сценарий №2*

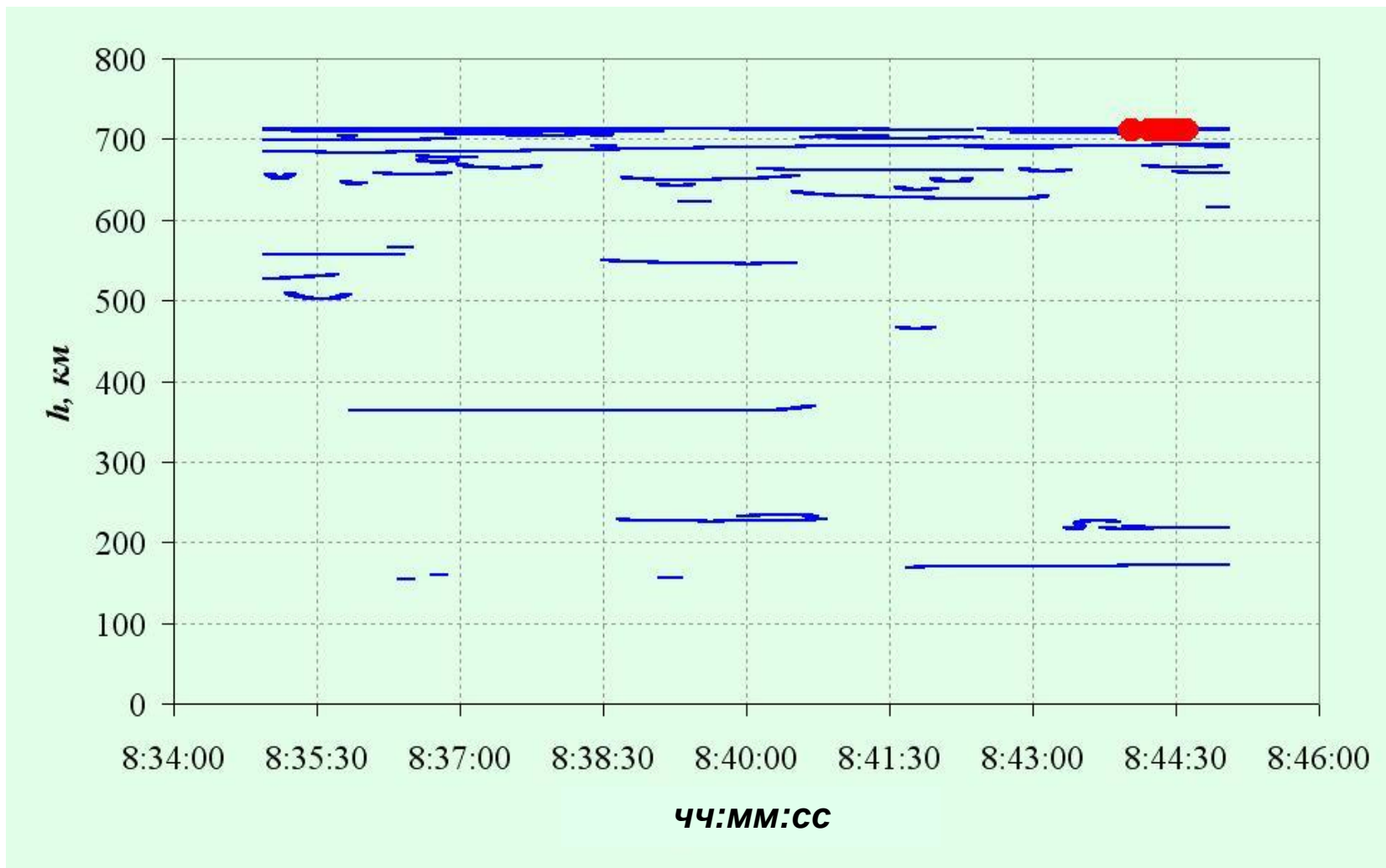




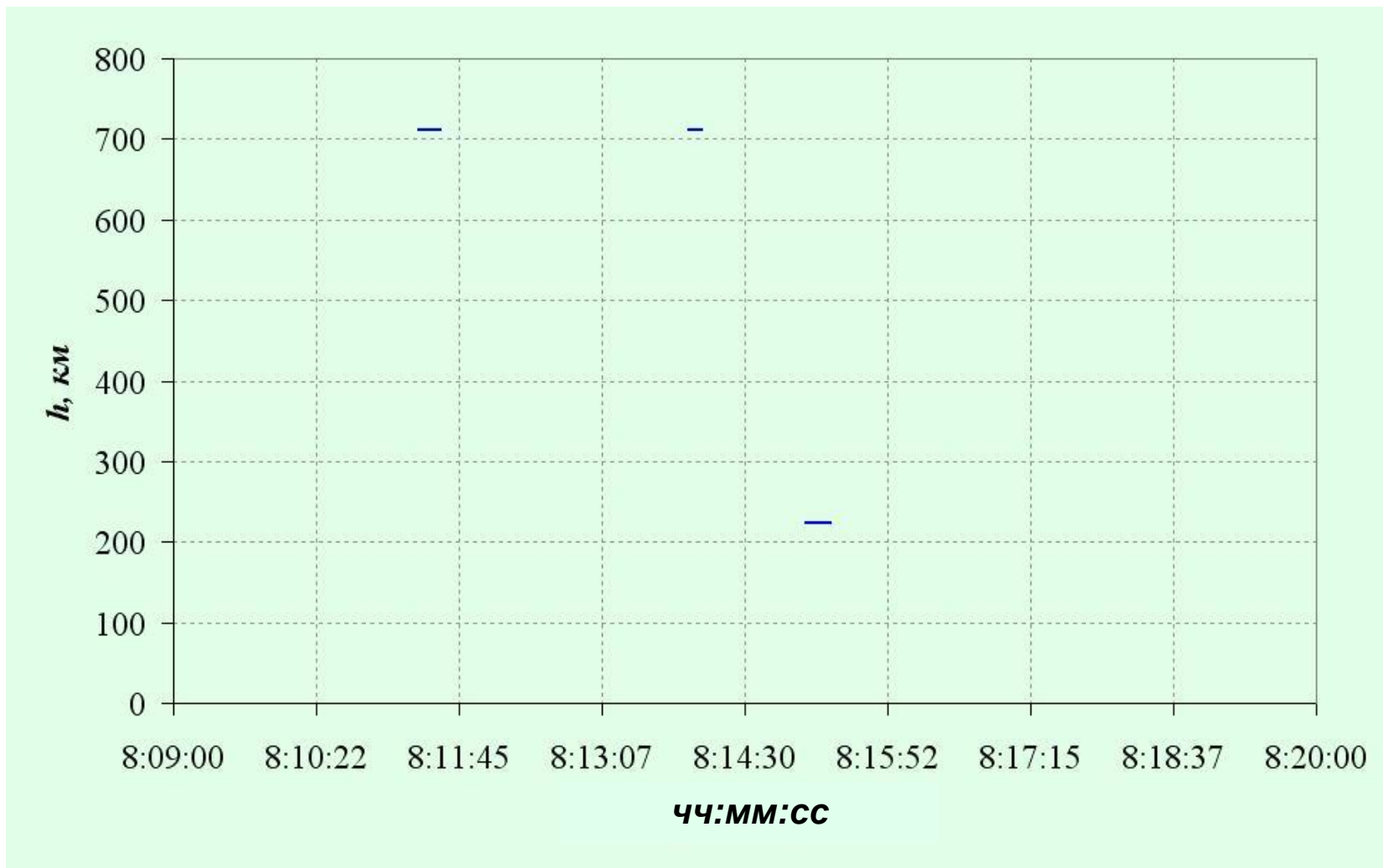
*Диаграмма пересечений траекторий и опасных сближений, окно №6 сценарий №1*



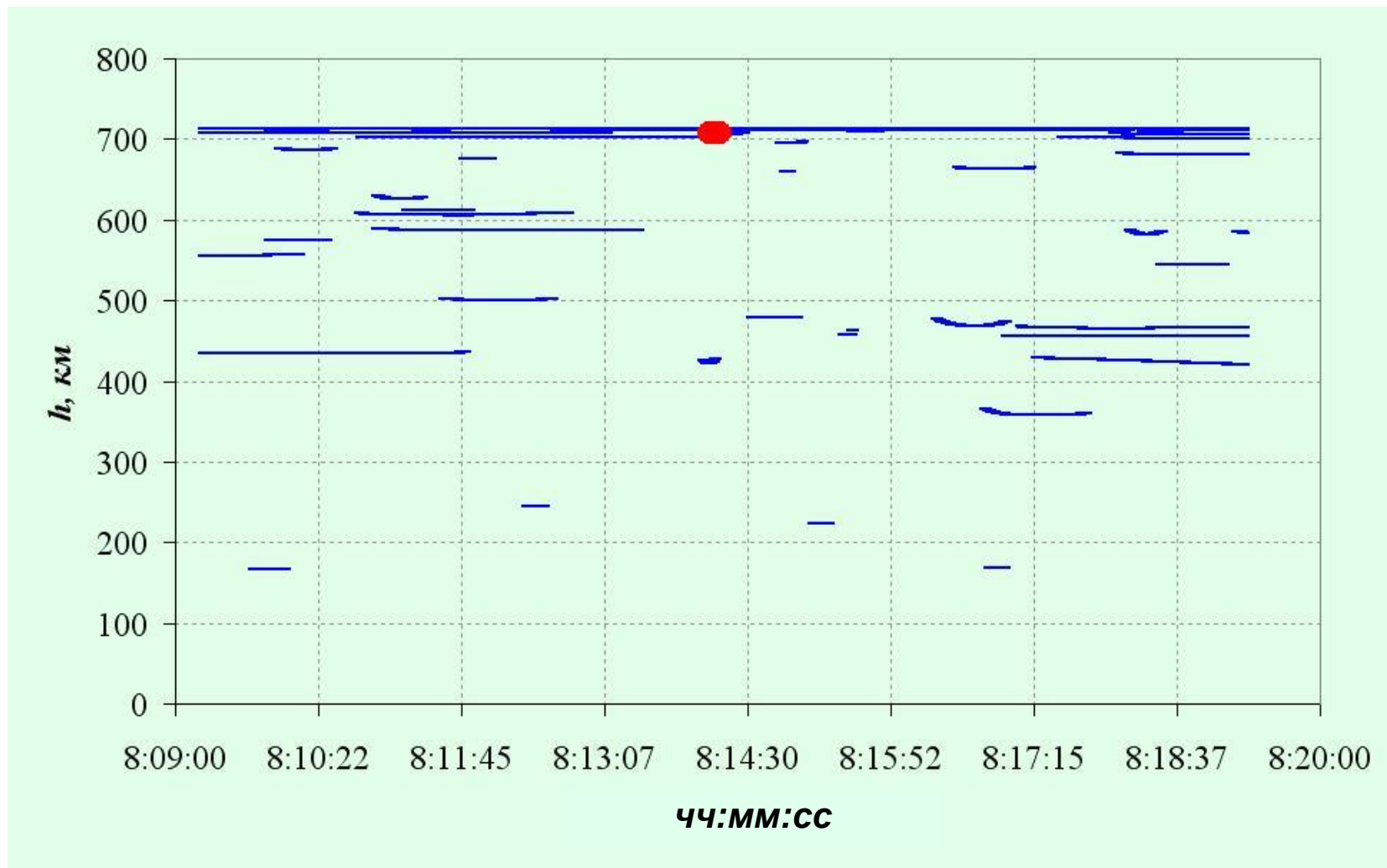
*Диаграмма пересечений траекторий и опасных сближений, окно №6 сценарий №2*



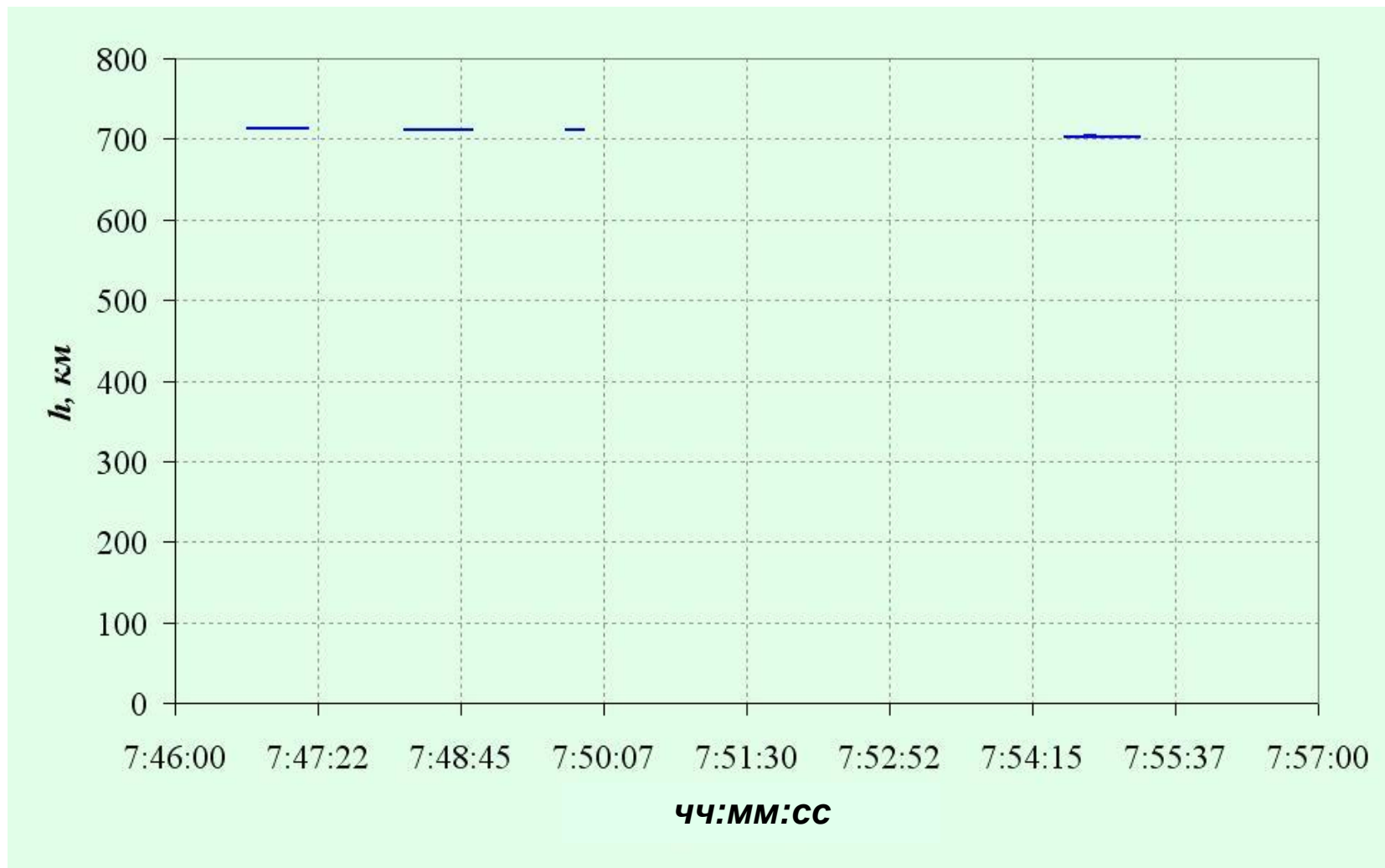
*Диаграмма пересечений траекторий и опасных сближений, окно №7 сценарий №1*



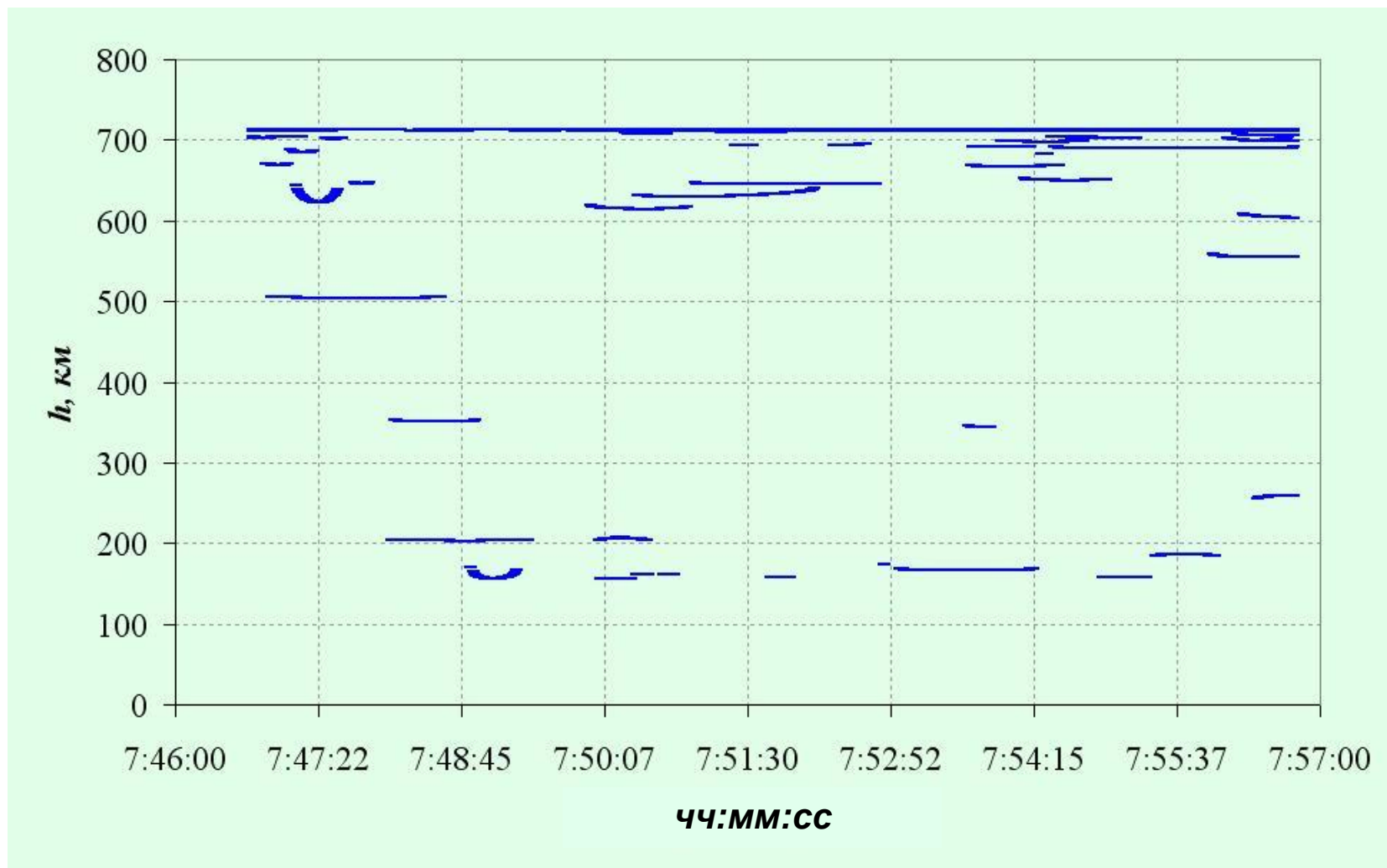
*Диаграмма пересечений траекторий и опасных сближений, окно №7 сценарий №2*



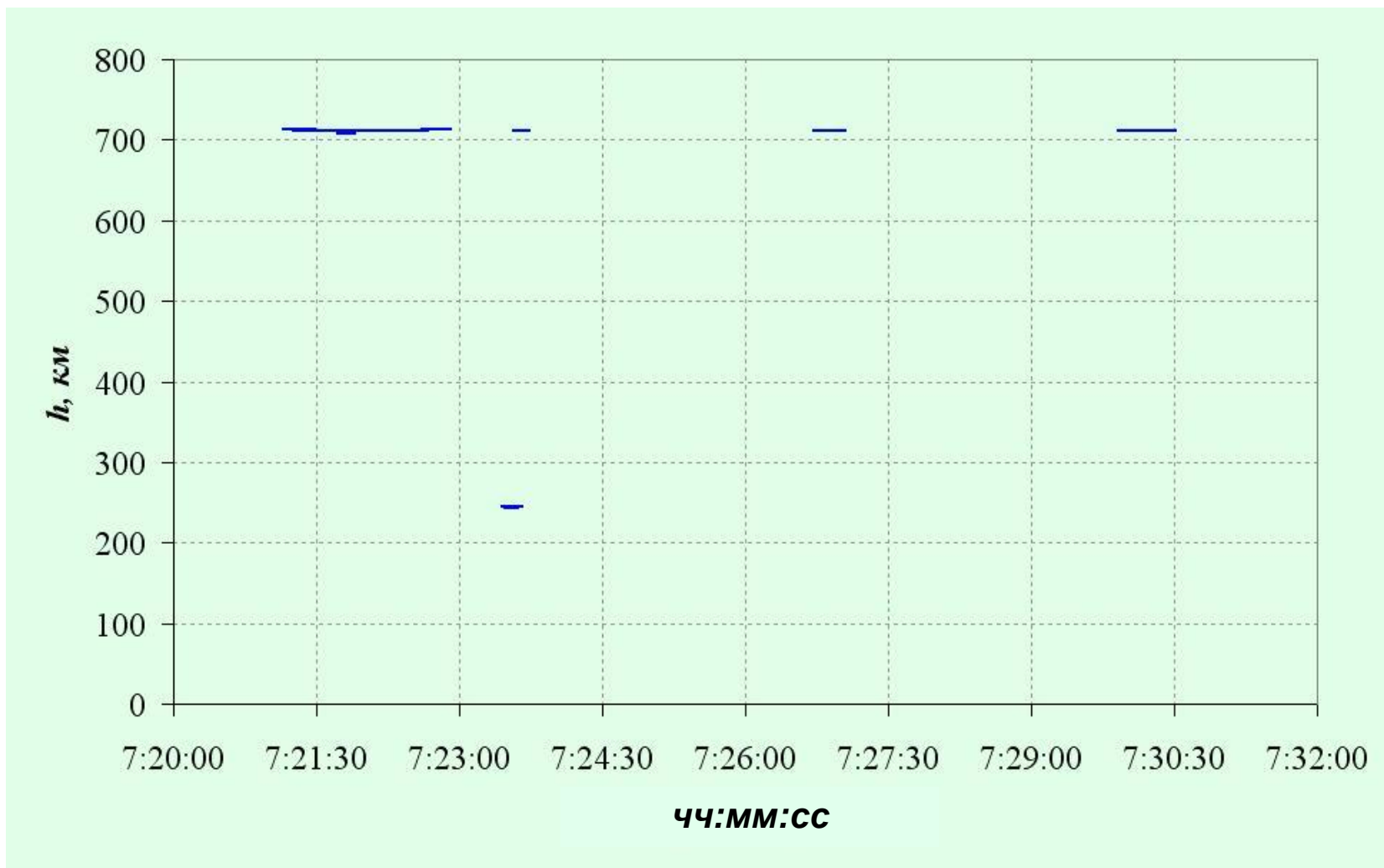
*Диаграмма пересечений траекторий и опасных сближений, окно №8 сценарий №1*



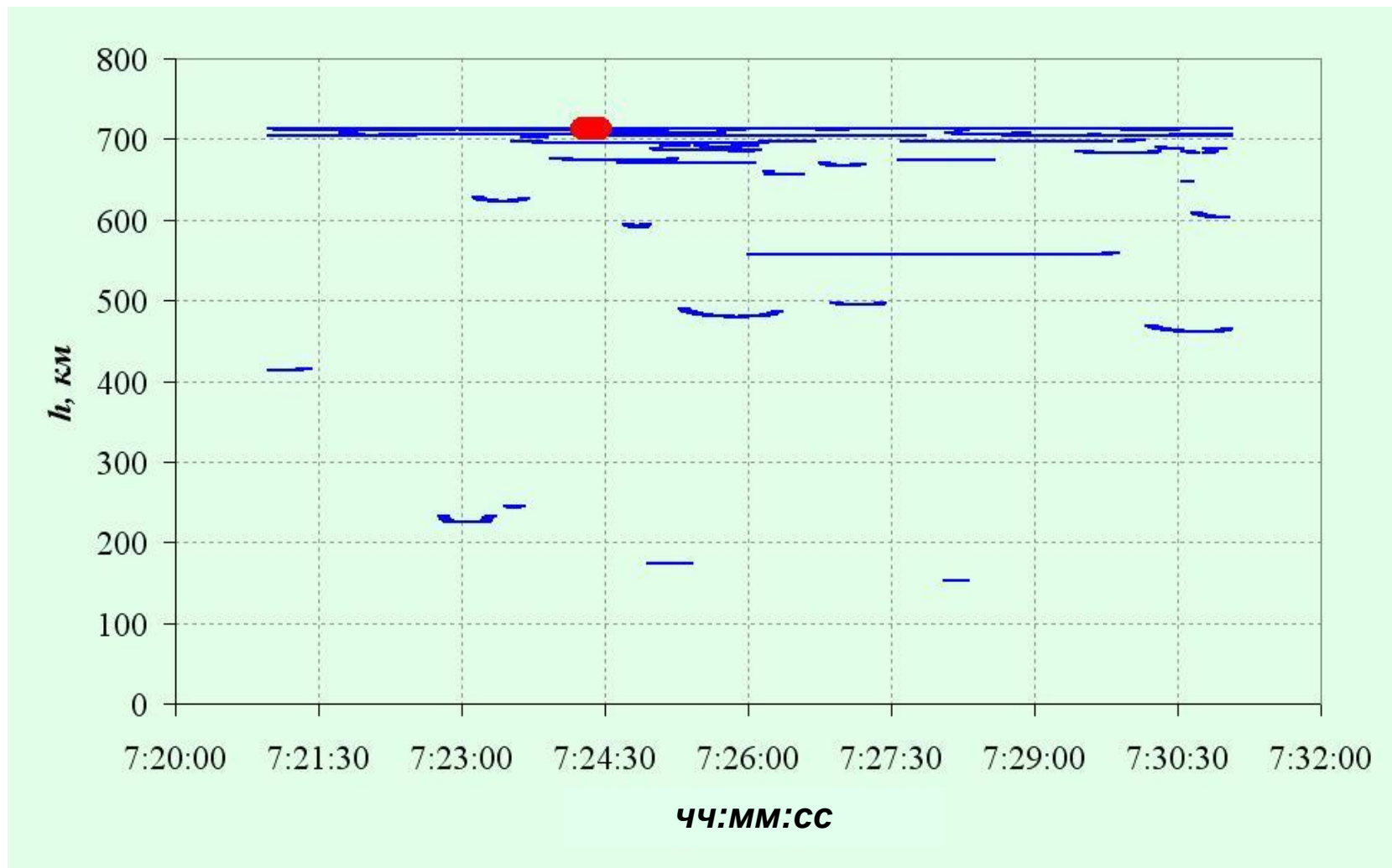
## *Диаграмма пересечений траекторий и опасных сближений, окно №8 сценарий №2*



*Диаграмма пересечений траекторий и опасных сближений, окно №9 сценарий №1*



*Диаграмма пересечений траекторий и опасных сближений, окно №9 сценарий №2*

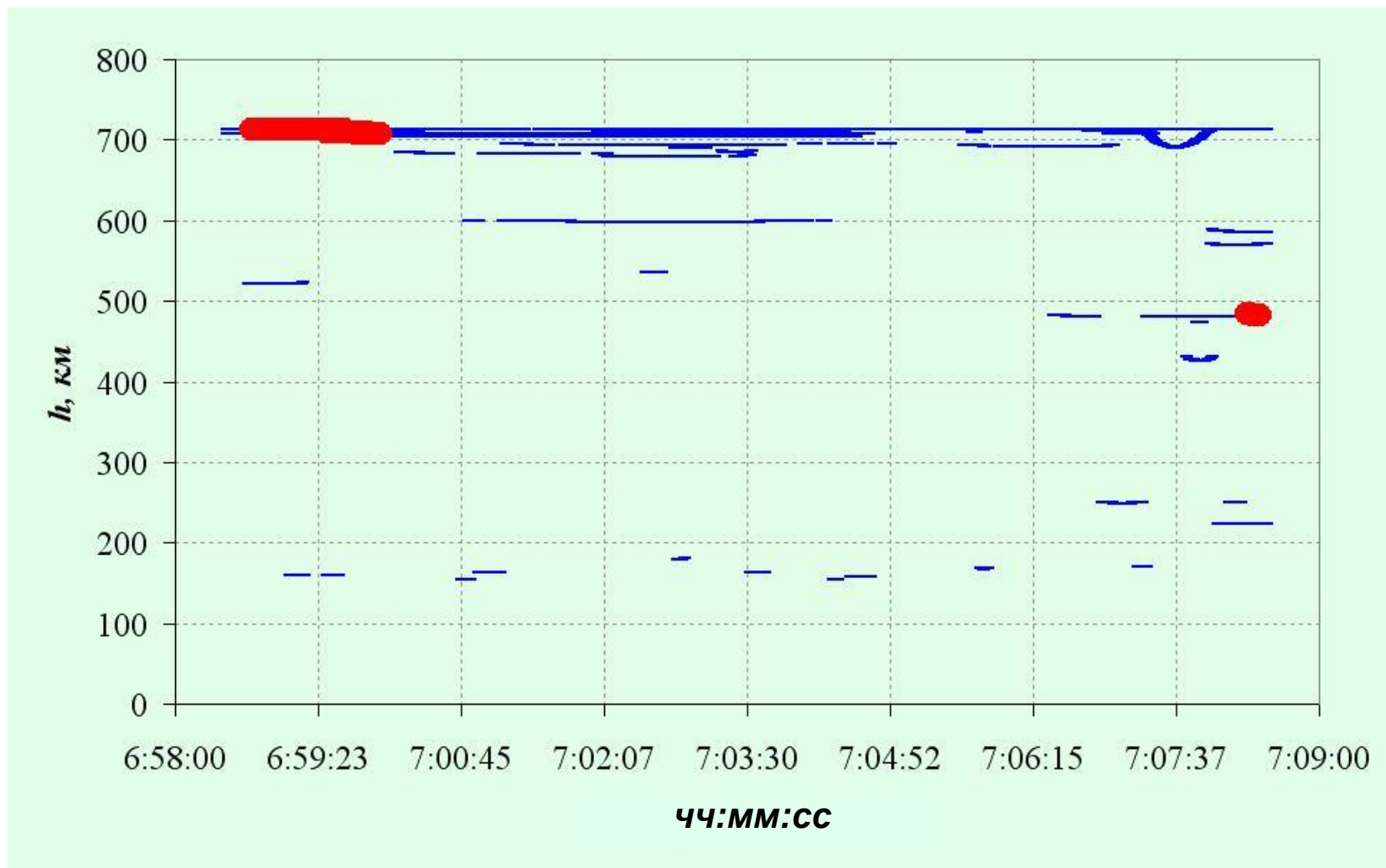




*Диаграмма пересечений траекторий и опасных сближений, окно №10 сценарий №1*



*Диаграмма пересечений траекторий и опасных сближений, окно №10 сценарий №2*





**Спасибо за внимание!**