In [1]:

```
import sympy as smp
import matplotlib.pyplot as plt
import pandas as pd
import numpy as np
from IPython.display import HTML
%matplotlib inline
```

Кинетическая энергия равна работе силы, которую необходимо приложить к телу для сообщения данной скорости.

пусть количество израсходованного за 1 сек топлива (кг/с):

$$\Delta m = \frac{dM_{\text{топлива}}}{dt}, \text{кг/сек}$$

какую работу нужно совершить чтобы разогнать массу Δm до скорости истечения v ?

$$\Delta A = \frac{v^2 \cdot \Delta m}{2}$$

работа, совершенная за еденицу времени - т.е. это ведь наша мощность N.

$$N = \frac{v^2 \cdot \Delta m}{2}$$

Мощность известна - это величина постоянная и равна 0.5МВт с учетом к.п.д. $\eta = 0.5$ это $N = 0.25\text{МВт}$

Пусть нам неизвестны ни скорость истечения, ни масса, но мы знаем мощность которую мы можем тратить на разгон рабочего тела, и это 0.25МВт

$$v = \sqrt{2\frac{N}{\Delta m}}, \text{или расход массы}: \ \Delta m = \frac{2N}{v^2} = \frac{2 \cdot 250,000 \text{ Вт}}{(v(\text{м}/c))^2}$$

Проверка размерностей для расхода рабочего тела:

$$\frac{\frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{c^3}}{\frac{\text{м}^2}{c^2}} = \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Построим график зависимости $\Delta m(v)$ при постоянной заданной мощности, а заодно и время потраченное на расход $10,000.00$ кг рабочего тела

In [2]:

```
data = pd.DataFrame([(2 * 250_000/(v**2), v) for v in range(1000, 201_000, 1000)], \
                    columns=['delta_m(kg)', 'v(m/s)'])

data['time_(s)'] = 10_000 / data['delta_m(kg)']

data['time_(year)'] = data['time_(s)']/60/60/24/365 # 60секунд * 60минут * 24 часа * 

data[(data['v(m/s)'] >=60000) & (data['v(m/s)'] <=80000)]
```

Out[2]:

	delta_m(kg)	v(m/s)	time_(s)	time_(year)
59	0.000139	60000	72000000.0	2.283105
60	0.000134	61000	74420000.0	2.359843
61	0.000130	62000	76880000.0	2.437849
62	0.000126	63000	79380000.0	2.517123
63	0.000122	64000	81920000.0	2.597666
64	0.000118	65000	84500000.0	2.679477
65	0.000115	66000	87120000.0	2.762557
66	0.000111	67000	89780000.0	2.846905
67	0.000108	68000	92480000.0	2.932522
68	0.000105	69000	95220000.0	3.019406
69	0.000102	70000	98000000.0	3.107560
70	0.000099	71000	100820000.0	3.196981
71	0.000096	72000	103680000.0	3.287671
72	0.000094	73000	106580000.0	3.379630
73	0.000091	74000	109520000.0	3.472856
74	0.000089	75000	112500000.0	3.567352
75	0.000087	76000	115520000.0	3.663115
76	0.000084	77000	118580000.0	3.760147
77	0.000082	78000	121680000.0	3.858447
78	0.000080	79000	124820000.0	3.958016
79	0.000078	80000	128000000.0	4.058853

In [3]:

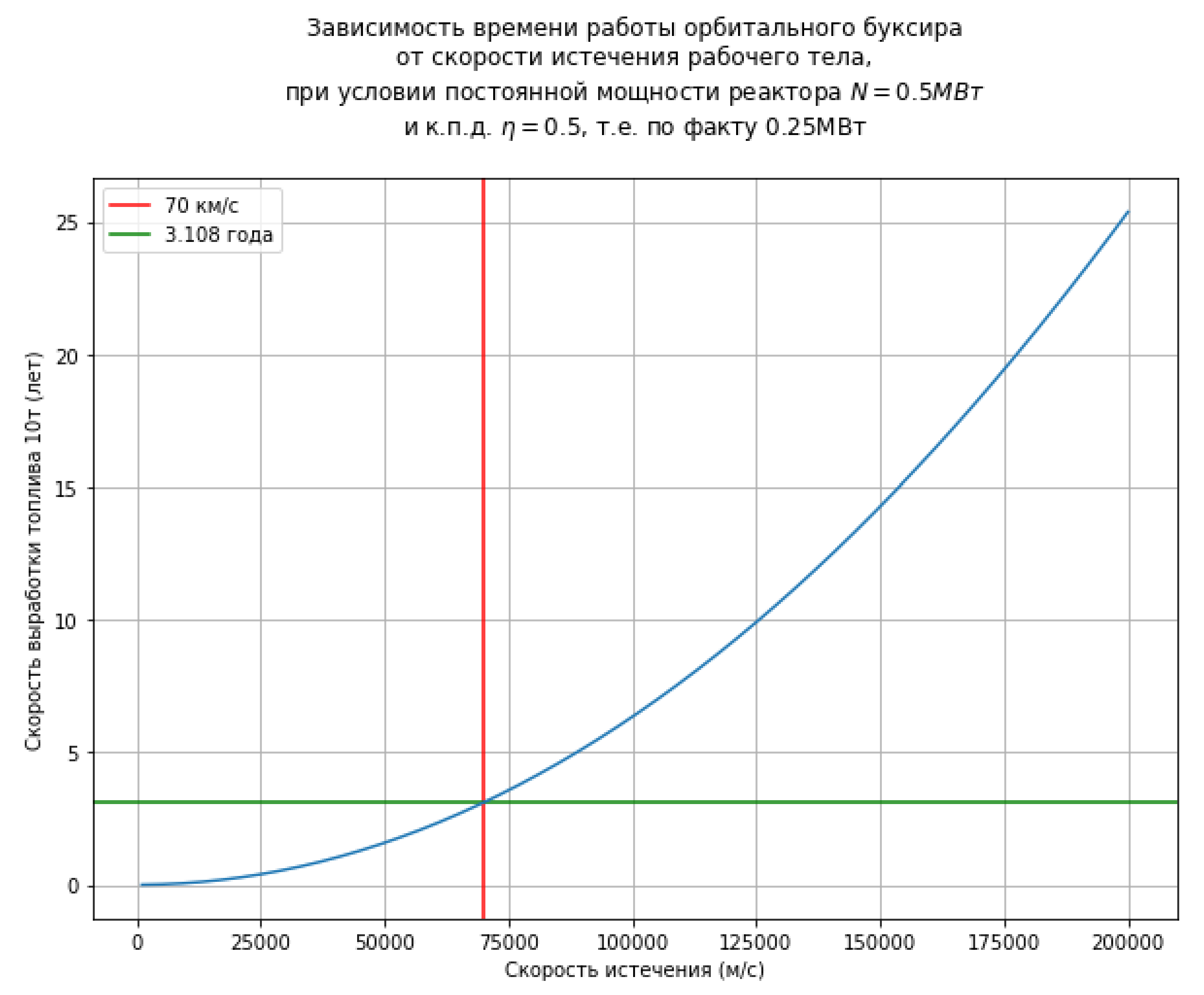
```
time_end = round(data[data['v(m/s)'] == 70000]['time_(year)'].values[0],3)

display(HTML(f'<h3>Время выработки всего топлива при скорости' + \
             f' истечения 70 км/с составит: {time_end} года.</h3>'))
```

Время выработки всего топлива при скорости истечения 70 км/с составит: 3.108 года.

In [4]:

```
plt.figure(figsize=(10,7))
plt.xlabel('Скорость истечения (м/с)')
plt.ylabel('Скорость выработки топлива 10т (лет)')
plt.grid(True)
plt.title("""
Зависимость времени работы орбитального буксира
от скорости истечения рабочего тела,
при условии постоянной мощности реактора $N = 0.5 МВт$
и к.п.д. $\eta = 0.5$, т.е. по факту 0.25МВт
""")
plt.axvline(70000, color='red', label='70 км/с')
plt.axhline(time_end, color='green', label = f'{time_end} года')
plt.plot(data['v(m/s)'], data['time_(year)'])
plt.legend();
```



применим формулу Циолковского для расчета максимального приращения скорости в случае

- Сорость истечения - 70 км/с, буксир полная масса 35, топливо 10т (за 6.3 лет разгона)
- Сорость истечения - 70 км/с, буксир полная масса 55, топливо 10т (за 6.3 лет разгона)
- Сорость истечения - 200 км/с, буксир полная масса 35, топливо 10т (за 50 лет разгона)
- Сорость истечения - 200 км/с, буксир полная масса 55, топливо 10т (за 50 лет разгона)

$$V_{\text{конечная}} = V_{\text{истечения}} \cdot \ln\left(\frac{M_{\text{полная}}}{M_{\text{полная}} - M_{\text{топлива}}}\right)$$

In [5]:

```
def calc_v_end(v, m_start, m_fuel ):
    """
        v - скорость истечения
        m_start - начальная масса
        m_fuel - масса топлива
    """
    print(f'Скорость истечения: {v} км/с')
    print(f'Сухая масса (включая полезную нагрузку): {m_start-m_fuel} т')
    print(f'Начальная масса: {m_start} т')
    print(f'Масса топлива: {m_fuel} т')
    v_end = v*np.log(m_start/(m_start-m_fuel))
    display(HTML(f'Полное приращение скорости после расхода всего топлива: <b>{np.rour

    return v_end
```

In [6]:

```
calc_v_end(70, 35, 10);
```

```
Скорость истечения: 70 км/с
Сухая масса (включая полезную нагрузку): 25 т
Начальная масса: 35 т
Масса топлива: 10 т
```

Полное приращение скорости после расхода всего топлива: **23.55306 км/с**

In [7]:

```
calc_v_end(70, 55, 10);
```

```
Скорость истечения: 70 км/с
Сухая масса (включая полезную нагрузку): 45 т
Начальная масса: 55 т
Масса топлива: 10 т
```

Полное приращение скорости после расхода всего топлива: **14.04695 км/с**

In [8]:

```
calc_v_end(200, 35, 10);
```

```
Скорость истечения: 200 км/с
Сухая масса (включая полезную нагрузку): 25 т
Начальная масса: 35 т
Масса топлива: 10 т
```

Полное приращение скорости после расхода всего топлива: **67.29445 км/с**

In [9]:

```
calc_v_end(200, 55, 10);
```

```
Скорость истечения: 200 км/с
Сухая масса (включая полезную нагрузку): 45 т
Начальная масса: 55 т
Масса топлива: 10 т
```

Полное приращение скорости после расхода всего топлива: **40.13414 км/с**