In [1]:

```python
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 $\Delta m$ 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 $0.5\text{МВт}$ 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 $0.25\text{МВт}$

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

Проверка размерностей для расхода рабочего тела:

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

Построим график зависимости $\Delta m(v)$ при постоянной заданной мощности, а заодно и время потраченное на расход $20,000.00$ кг рабочего тела

In [2]:

```python
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)'] = 20_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 | 144000000.0 | 4.566210 |
| **60** | 0.000134 | 61000 | 148840000.0 | 4.719685 |
| **61** | 0.000130 | 62000 | 153760000.0 | 4.875698 |
| **62** | 0.000126 | 63000 | 158760000.0 | 5.034247 |
| **63** | 0.000122 | 64000 | 163840000.0 | 5.195332 |
| **64** | 0.000118 | 65000 | 169000000.0 | 5.358955 |
| **65** | 0.000115 | 66000 | 174240000.0 | 5.525114 |
| **66** | 0.000111 | 67000 | 179560000.0 | 5.693810 |
| **67** | 0.000108 | 68000 | 184960000.0 | 5.865043 |
| **68** | 0.000105 | 69000 | 190440000.0 | 6.038813 |
| **69** | 0.000102 | 70000 | 196000000.0 | 6.215119 |
| **70** | 0.000099 | 71000 | 201640000.0 | 6.393962 |
| **71** | 0.000096 | 72000 | 207360000.0 | 6.575342 |
| **72** | 0.000094 | 73000 | 213160000.0 | 6.759259 |
| **73** | 0.000091 | 74000 | 219040000.0 | 6.945713 |
| **74** | 0.000089 | 75000 | 225000000.0 | 7.134703 |
| **75** | 0.000087 | 76000 | 231040000.0 | 7.326230 |
| **76** | 0.000084 | 77000 | 237160000.0 | 7.520294 |
| **77** | 0.000082 | 78000 | 243360000.0 | 7.716895 |
| **78** | 0.000080 | 79000 | 249640000.0 | 7.916032 |
| **79** | 0.000078 | 80000 | 256000000.0 | 8.117707 |

In [3]:

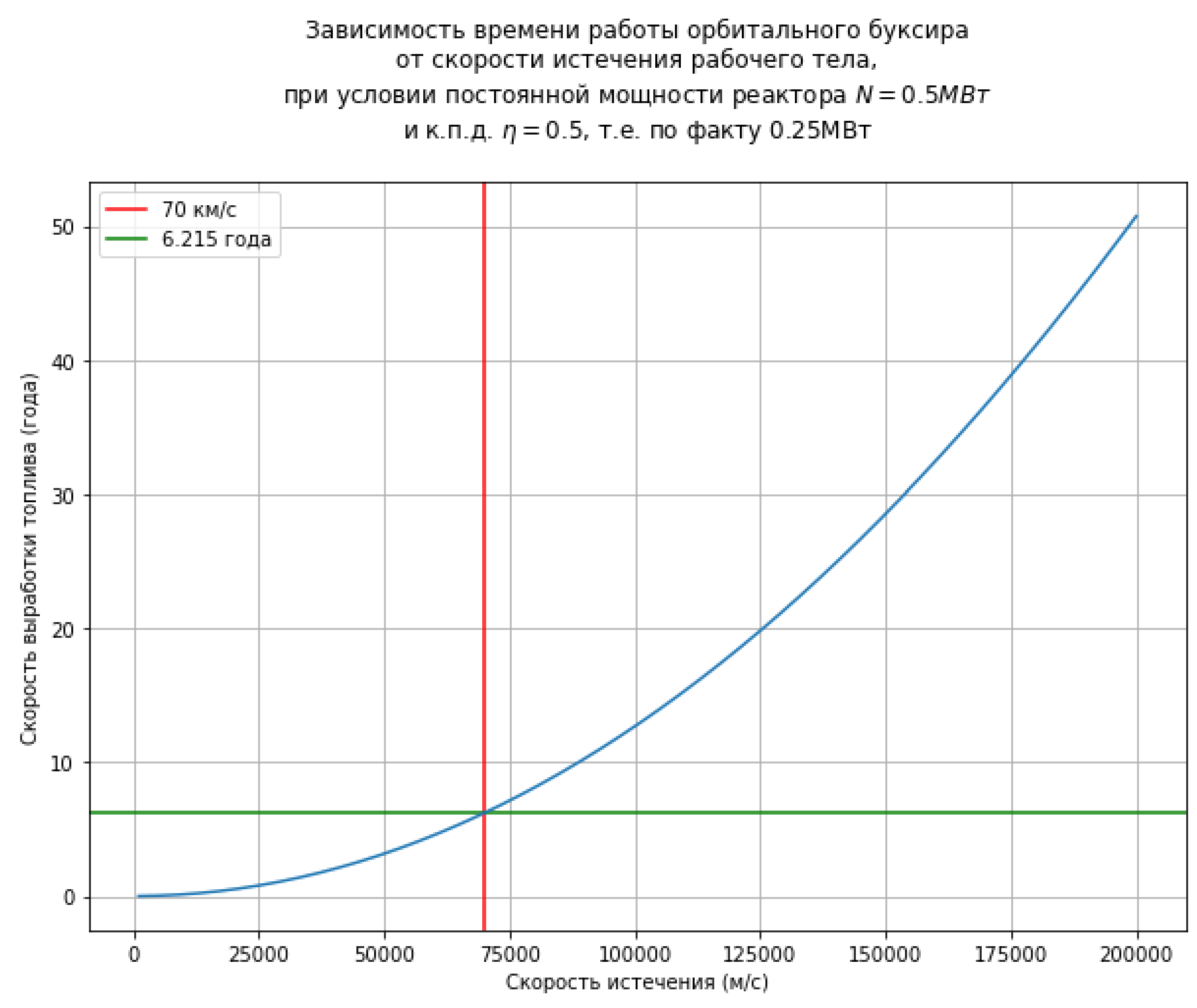
```python
time_end = round(data[data['v(m/s)'] == 70000]['time_(year)'].values[0],3)

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: 6.215 года.

In [4]:

```python
plt.figure(figsize=(10,7))
plt.xlabel('Скорость истечения (м/с)')
plt.ylabel('Скорость выработки топлива (года)')
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 20 (за 6.3 лет разгона)
- Сорость истечения - 70 км/с, буксир полная масса 55, топливо 20 (за 6.3 лет разгона)
- Сорость истечения - 200 км/с, буксир полная масса 35, топливо 20 (за 50 лет разгона)
- Сорость истечения - 200 км/с, буксир полная масса 55, топливо 20 (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]:

```python
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.rou

    return v_end
```

In [6]:

```python
calc_v_end(70, 35, 20);
```

```
Скорость истечения: 70 км/с
Сухая масса (включая полезную нагрузку): 15 т
Начальная масса: 35 т
Масса топлива: 20 т
```

Полное приращение скорости после расхода всего топлива: **59.31085 км/с**

In [7]:

```python
calc_v_end(70, 55, 20);
```

```
Скорость истечения: 70 км/с
Сухая масса (включая полезную нагрузку): 35 т
Начальная масса: 55 т
Масса топлива: 20 т
```

Полное приращение скорости после расхода всего топлива: **31.63896 км/с**

In [8]:

```python
calc_v_end(200, 35, 20);
```

```
Скорость истечения: 200 км/с
Сухая масса (включая полезную нагрузку): 15 т
Начальная масса: 35 т
Масса топлива: 20 т
```

Полное приращение скорости после расхода всего топлива: **169.45957 км/с**

In [9]:

```python
calc_v_end(200, 55, 20);
```

```
Скорость истечения: 200 км/с
Сухая масса (включая полезную нагрузку): 35 т
Начальная масса: 55 т
Масса топлива: 20 т
```

Полное приращение скорости после расхода всего топлива: **90.39702 км/с**

In [ ]:

In [ ]: