

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Факультет «Информатика и системы управления»

Кафедра «Системы обработки информации и управления»



Лабораторная работа № 6

по дисциплине «Методы машинного обучения»

Обучение на основе DQN

ИСПОЛНИТЕЛЬ:

студент ИУ5-23М

Бондаренко И. Г.

ПРЕПОДАВАТЕЛЬ:

Гапанюк Ю. Е.

___ " _____ " 2024 г.

Москва, 2024

Задание лабораторной работы

- На основе рассмотренных на лекции примеров реализовать алгоритм DQN.
- В качестве среды можно использовать классические среды (в этом случае используется полносвязная архитектура нейронной сети).
- В качестве среды можно использовать игры Atari (в этом случае используется сверточная архитектура нейронной сети).

Выполнение работы

Описание среды

Выберем библиотеку Acrobot-v1 из библиотеки Gym: https://www.gymnasium.dev/environments/classic_control/acrobot/

Есть непрерывное пространство из 6 параметров:

- Cosine of theta1 $[-1; 1]$
- Sine of theta1 $[-1; 1]$
- Cosine of theta2 $[-1; 1]$
- Sine of theta2 $[-1; 1]$
- Angular velocity of theta1 $[-4\pi; 4\pi]$
- Angular velocity of theta2 $[-9\pi; 9\pi]$

Есть 3 взаимоисключающих действия:

- Apply -1 torque to the actuated joint (применить -1)
- Apply 0 torque to the actuated joint (применить 0)
- Apply 1 torque to the actuated joint (применить 1)

Для реализации используем нейронную сеть для классификации.

Код программы

```
In [1]:
import gym
import math
import random
import matplotlib
import matplotlib.pyplot as plt
from collections import namedtuple, deque
from itertools import count

In [2]:
import torch
import torch.nn as nn
import torch.optim as optim
import torch.nn.functional as F

In [3]:
# Название среды
CONST_ENV_NAME = 'Acrobot-v1'
# Использование GPU
CONST_DEVICE = torch.device("cuda" if torch.cuda.is_available() else "cpu")

# Элемент ReplayMemory в форме именованного кортежа
Transition = namedtuple('Transition',
                        ('state', 'action', 'next_state', 'reward'))

In [4]:
```

Реализация техники Replay Memory

```
class ReplayMemory(object):

    def __init__(self, capacity):
        self.memory = deque([], maxlen=capacity)

    def push(self, *args):
        """
        Сохранение данных в ReplayMemory
        """
        self.memory.append(Transition(*args))

    def sample(self, batch_size):
        """
        Выборка случайных элементов размера batch_size
        """
        return random.sample(self.memory, batch_size)

    def __len__(self):
        return len(self.memory)
```

In [5]:

```
class DQN_Model(nn.Module):

    def __init__(self, n_observations, n_actions):
        """
        Инициализация топологии нейронной сети
        """
        super(DQN_Model, self).__init__()
        self.layer1 = nn.Linear(n_observations, 128)
        self.layer2 = nn.Linear(128, 128)
        self.layer3 = nn.Linear(128, n_actions)

    def forward(self, x):
        """
        Прямой проход
        Вызывается для одного элемента, чтобы определить следующее действие
        Или для batch'a во время процедуры оптимизации
        """
        x = F.relu(self.layer1(x))
        x = F.relu(self.layer2(x))
        return self.layer3(x)
```

In [6]:

```
class DQN_Agent:

    def __init__(self, env,
                BATCH_SIZE = 128,
                GAMMA = 0.99,
                EPS_START = 0.9,
                EPS_END = 0.05,
                EPS_DECAY = 1000,
                TAU = 0.005,
                LR = 1e-4
                ):
        # Среда
        self.env = env
        # Размерности Q-модели
        self.n_actions = env.action_space.n
        state, _ = self.env.reset()
        self.n_observations = len(state)
        # Коэффициенты
        self.BATCH_SIZE = BATCH_SIZE
        self.GAMMA = GAMMA
        self.EPS_START = EPS_START
        self.EPS_END = EPS_END
```

```

self.EPS_DECAY = EPS_DECAY
self.TAU = TAU
self.LR = LR
# Модели
# Основная модель
self.policy_net = DQN_Model(self.n_observations, self.n_actions).to(CONST_DEVICE)
# Вспомогательная модель, используется для стабилизации алгоритма
# Обновление контролируется гиперпараметром TAU
# Используется подход Double DQN
self.target_net = DQN_Model(self.n_observations, self.n_actions).to(CONST_DEVICE)
self.target_net.load_state_dict(self.policy_net.state_dict())
# Оптимизатор
self.optimizer = optim.AdamW(self.policy_net.parameters(), lr=self.LR, amsgrad=True)
# Replay Memory
self.memory = ReplayMemory(10000)
# Количество шагов
self.steps_done = 0
# Длительность эпизодов
self.episode_durations = []

```

```

def select_action(self, state):

```

```

    """
    Выбор действия
    """
    sample = random.random()
    eps = self.EPS_END + (self.EPS_START - self.EPS_END) * \
        math.exp(-1. * self.steps_done / self.EPS_DECAY)
    self.steps_done += 1
    if sample > eps:
        with torch.no_grad():
            # Если вероятность больше eps
            # то выбирается действие, соответствующее максимальному Q-значению
            # t.max(1) возвращает максимальное значение колонки для каждой строки
            # [1] возвращает индекс максимального элемента
            return self.policy_net(state).max(1)[1].view(1, 1)
    else:
        # Если вероятность меньше eps
        # то выбирается случайное действие
        return torch.tensor([self.env.action_space.sample()], device=CONST_DEVICE, dtype=torch.long)

```

```

def plot_durations(self, show_result=False):

```

```

    plt.figure(1)
    durations_t = torch.tensor(self.episode_durations, dtype=torch.float)
    if show_result:
        plt.title('Результат')
    else:
        plt.clf()
        plt.title('Обучение...')
    plt.xlabel('Эпизод')
    plt.ylabel('Количество шагов в эпизоде')
    plt.plot(durations_t.numpy())
    plt.pause(0.001) # пауза

```

```

def optimize_model(self):

```

```

    """
    Оптимизация модели
    """
    if len(self.memory) < self.BATCH_SIZE:
        return
    transitions = self.memory.sample(self.BATCH_SIZE)
    # Транспонирование batch'a
    # (https://stackoverflow.com/a/19343/3343043)

```

```

# Конвертация batch-массива из Transition
# в Transition batch-массивов.
batch = Transition(*zip(*transitions))

# Вычисление маски нефинальных состояний и конкатенация элементов batch'a
non_final_mask = torch.tensor(tuple(map(lambda s: s is not None,
                                         batch.next_state)), device=CONST_DEVICE, dtype=torch.bool)
non_final_next_states = torch.cat([s for s in batch.next_state
                                   if s is not None])
state_batch = torch.cat(batch.state)
action_batch = torch.cat(batch.action)
reward_batch = torch.cat(batch.reward)

# Вычисление  $Q(s_t, a)$ 
state_action_values = self.policy_net(state_batch).gather(1, action_batch)

# Вычисление  $V(s_{t+1})$  для всех следующих состояний
next_state_values = torch.zeros(self.BATCH_SIZE, device=CONST_DEVICE)
with torch.no_grad():
    next_state_values[non_final_mask] = self.target_net(non_final_next_states).max(1)[0]
# Вычисление ожидаемых значений  $Q$ 
expected_state_action_values = (next_state_values * self.GAMMA) + reward_batch

# Вычисление Huber loss
criterion = nn.SmoothL1Loss()
loss = criterion(state_action_values, expected_state_action_values.unsqueeze(1))

# Оптимизация модели
self.optimizer.zero_grad()
loss.backward()
# gradient clipping
torch.nn.utils.clip_grad_value_(self.policy_net.parameters(), 100)
self.optimizer.step()

```

```

def play_agent(self):
    """
    Проигрывание сессии для обученного агента
    """
    env2 = gym.make(CONST_ENV_NAME, render_mode='human')
    state = env2.reset()[0]
    state = torch.tensor(state, dtype=torch.float32, device=CONST_DEVICE).unsqueeze(0)
    done = False
    res = []
    while not done:
        action = self.select_action(state)
        action = action.item()
        observation, reward, terminated, truncated, _ = env2.step(action)
        env2.render()

        res.append((action, reward))

        if terminated:
            next_state = None
        else:
            next_state = torch.tensor(observation, dtype=torch.float32, device=CONST_DEVICE).unsqueeze(0)

        state = next_state
        if terminated or truncated:
            done = True

    print('Данные об эпизоде: ', res)

```

```

def learn(self):
    """
    Обучение агента
    """
    if torch.cuda.is_available():
        num_episodes = 600
    else:
        num_episodes = 50

    for i_episode in range(num_episodes):
        # Инициализация среды
        state, info = self.env.reset()
        state = torch.tensor(state, dtype=torch.float32, device=CONST_DEVICE).unsqueeze(0)
        for t in count():
            action = self.select_action(state)
            observation, reward, terminated, _ = self.env.step(action.item())
            reward = torch.tensor([reward], device=CONST_DEVICE)

            done = terminated or truncated
            if terminated:
                next_state = None
            else:
                next_state = torch.tensor(observation, dtype=torch.float32, device=CONST_DEVICE).unsqueeze(0)

            # Сохранение данных в Replay Memory
            self.memory.push(state, action, next_state, reward)

            # Переход к следующему состоянию
            state = next_state

            # Выполнение одного шага оптимизации модели
            self.optimize_model()

            # Обновление весов target-сети
            #  $\theta' \leftarrow \tau \theta + (1 - \tau) \theta'$ 
            target_net_state_dict = self.target_net.state_dict()
            policy_net_state_dict = self.policy_net.state_dict()
            for key in policy_net_state_dict:
                target_net_state_dict[key] = policy_net_state_dict[key]*self.TAU + target_net_state_dict[key]*(1-self.TAU)
            self.target_net.load_state_dict(target_net_state_dict)

            if done:
                self.episode_durations.append(t + 1)
                self.plot_durations()
                break

```

Работа программы

Обучение:

In [7]:

```

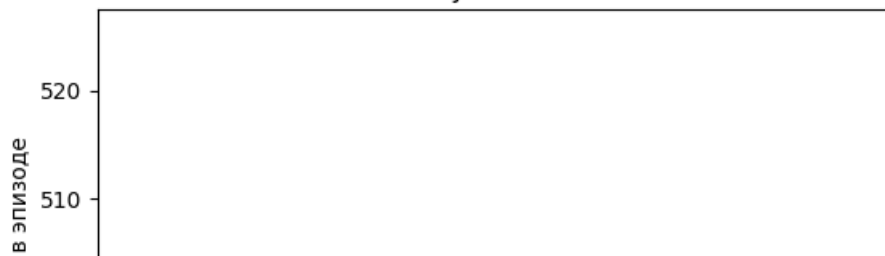
env = gym.make(CONST_ENV_NAME)
agent = DQN_Agent(env)
agent.learn()

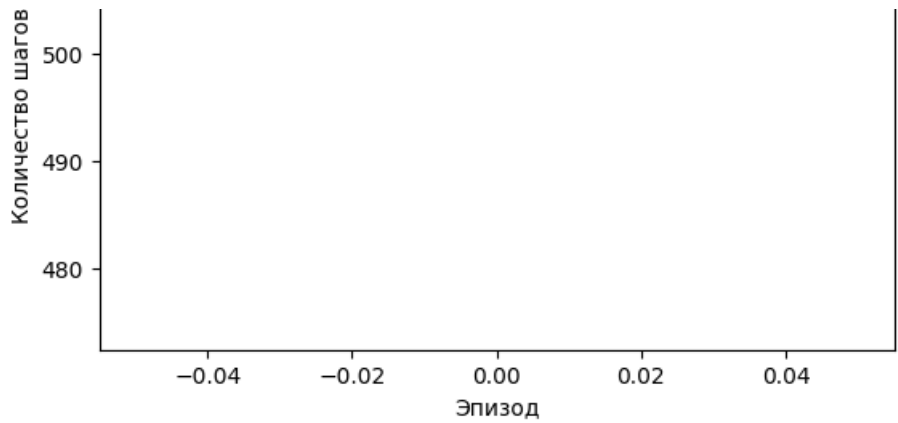
```

C:\Users\firry\AppData\Local\Programs\Python\Python312\Lib\site-packages\gym\utils\passive_env_checker.py:233: DeprecationWarning: `np.bool8` is a deprecated alias for `np.bool_`. (Deprecated NumPy 1.24)

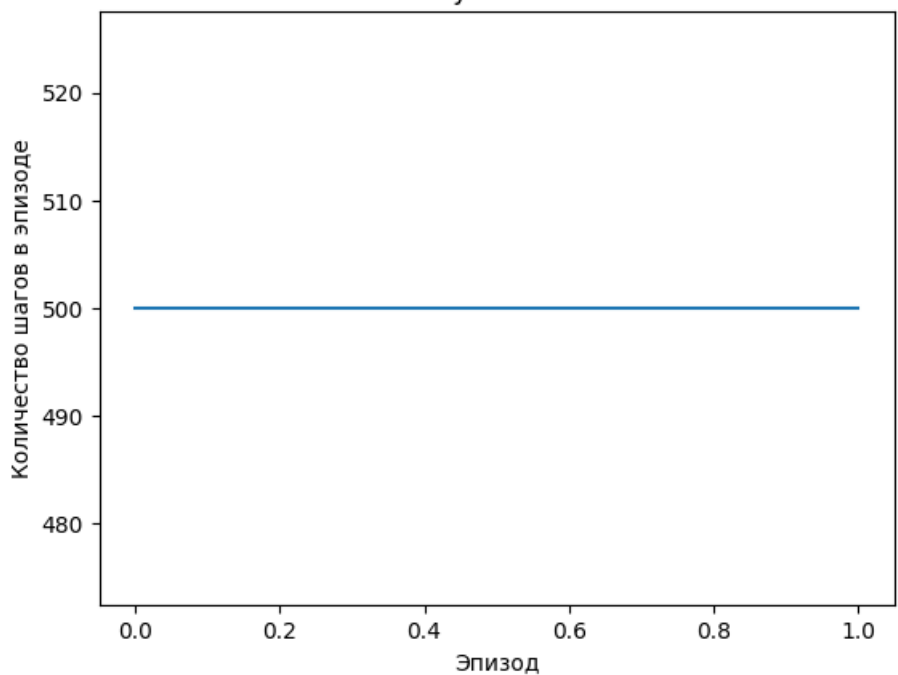
if not isinstance(terminated, (bool, np.bool8)):

Обучение...

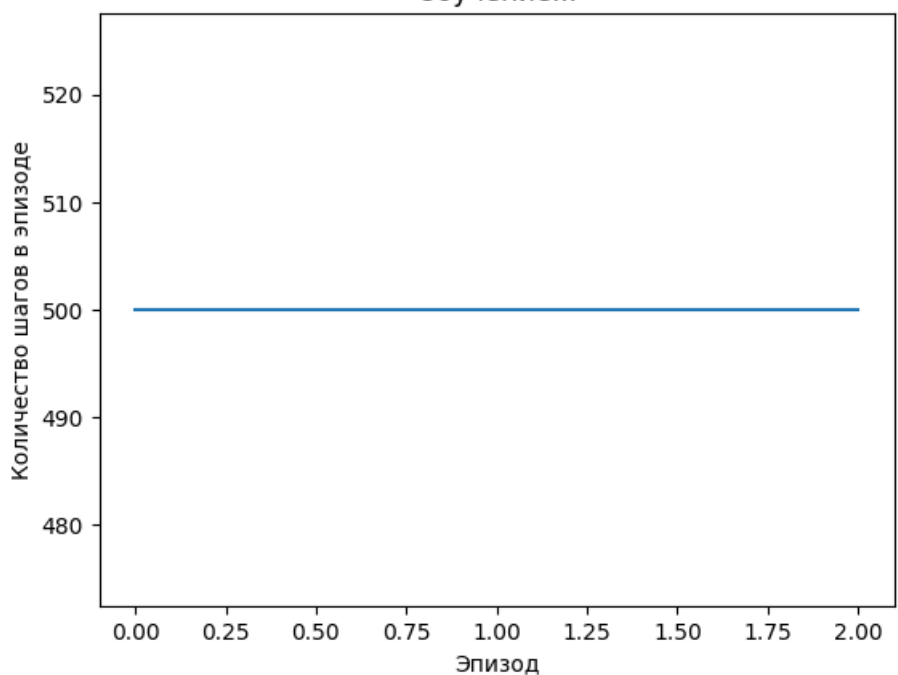




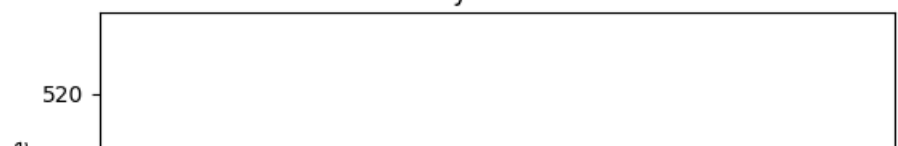
Обучение...

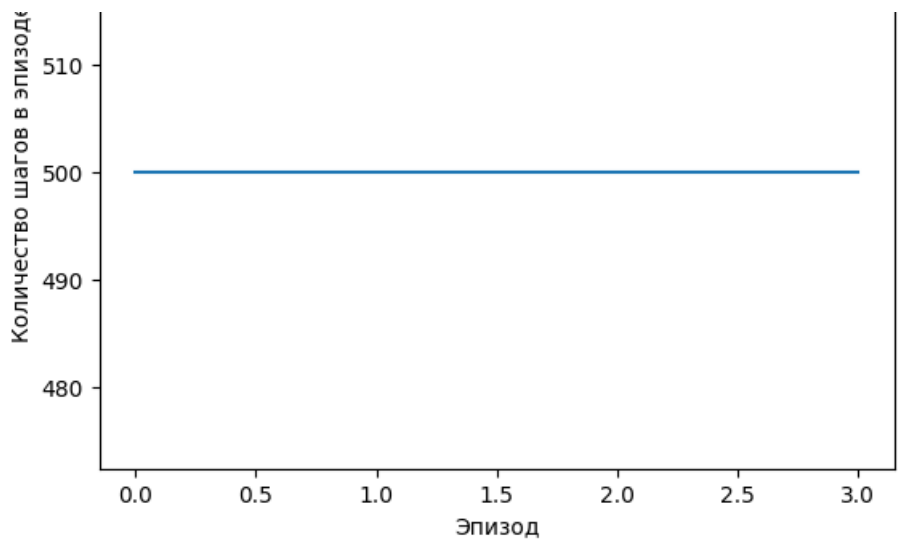


Обучение...

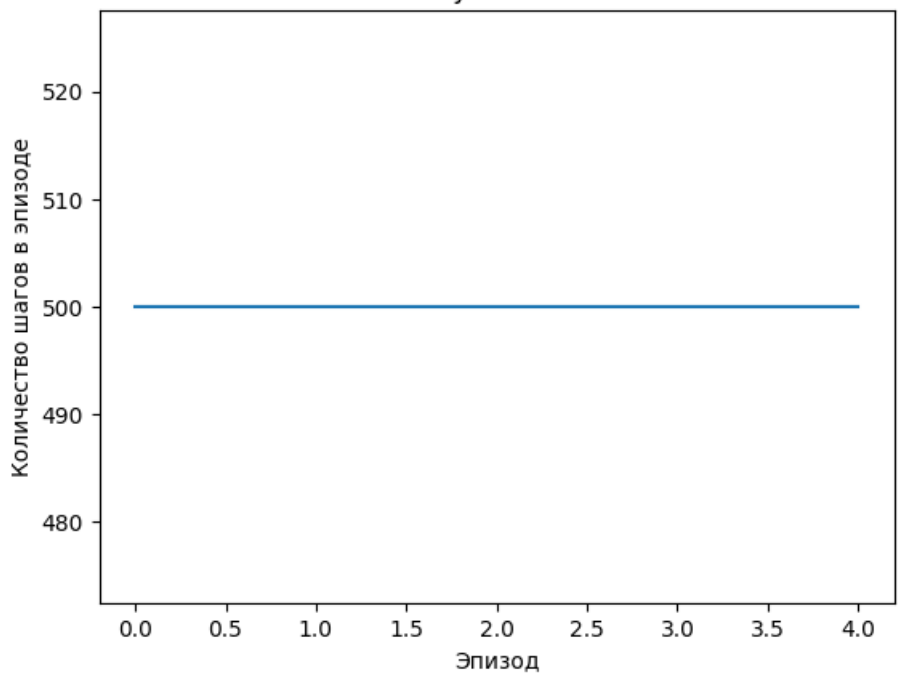


Обучение...

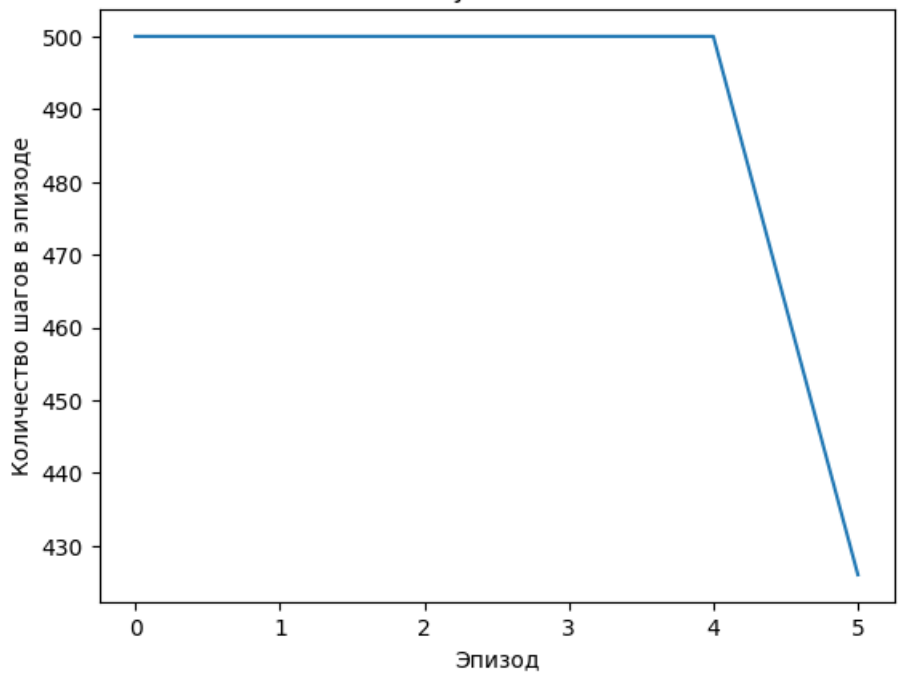




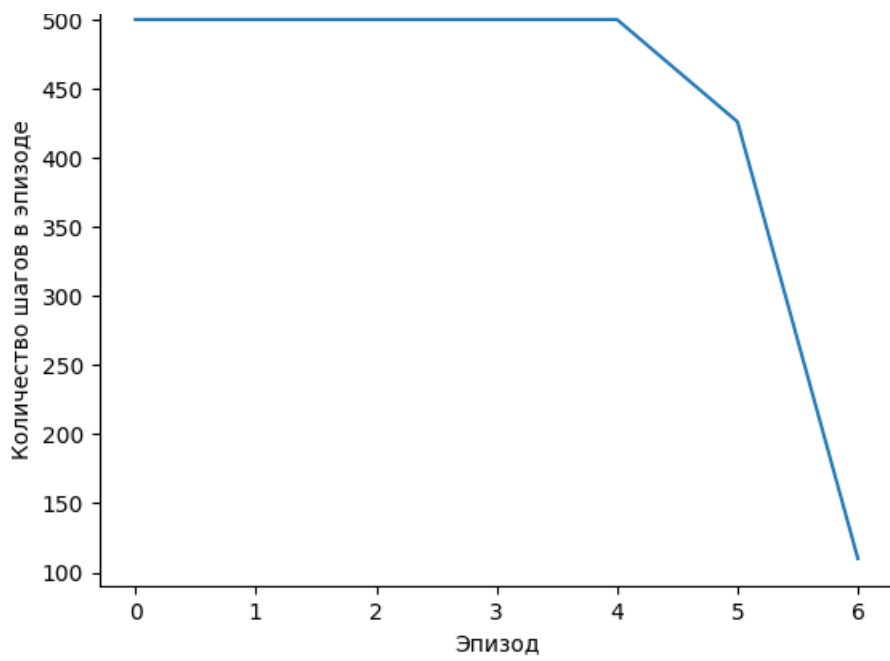
Обучение...



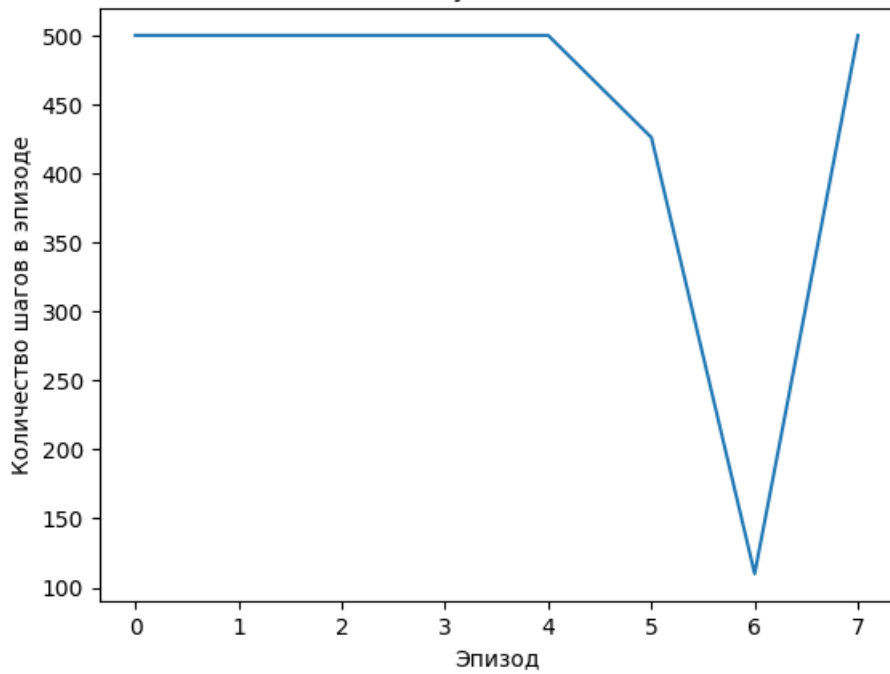
Обучение...



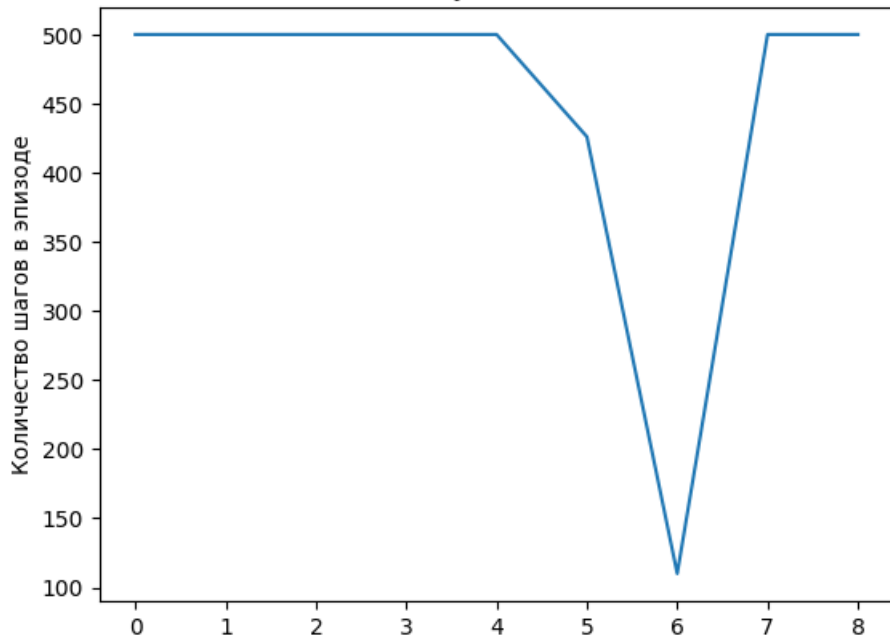
Обучение...



Обучение...

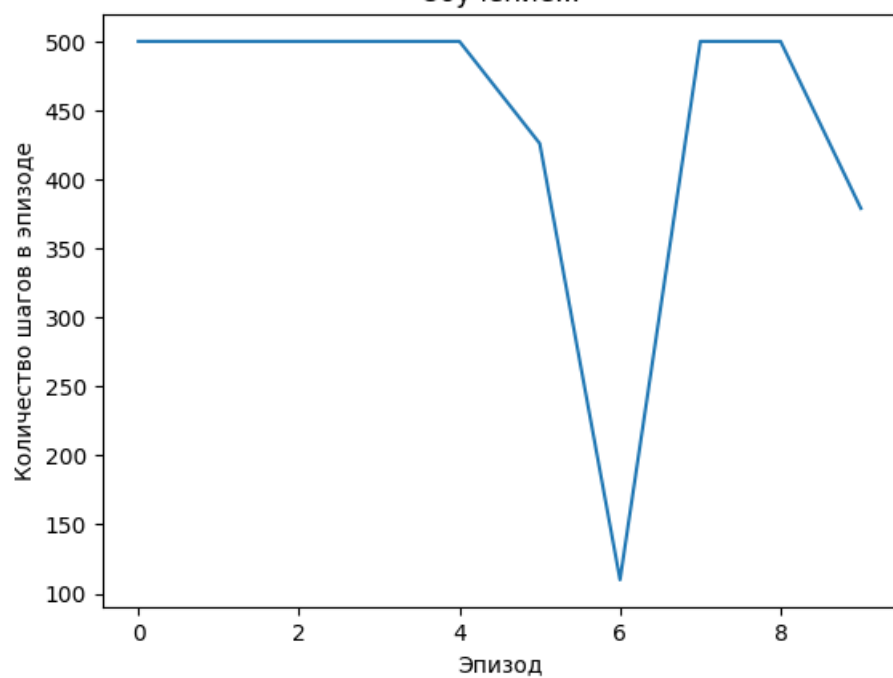


Обучение...

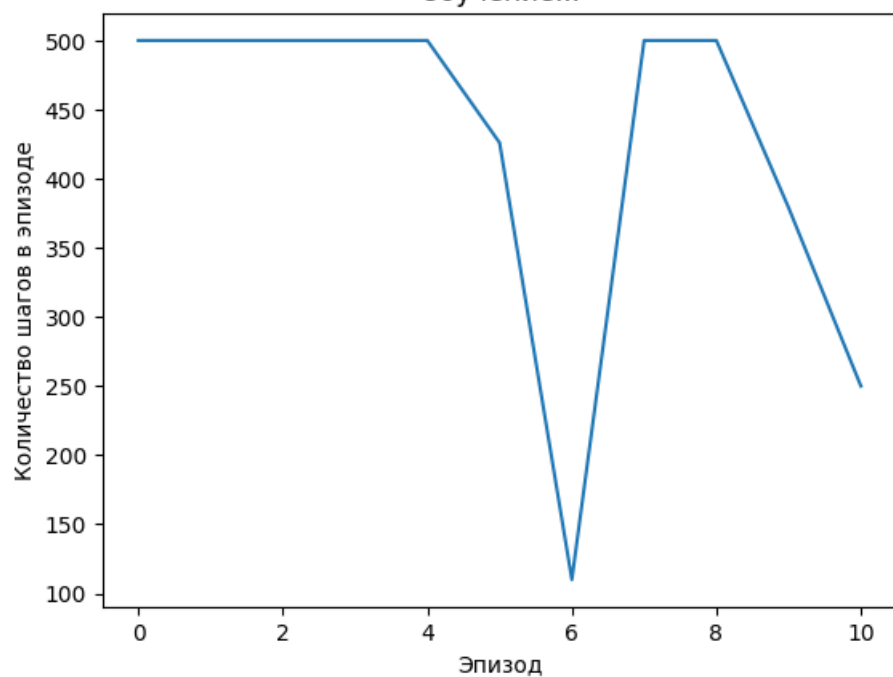


Эпизод

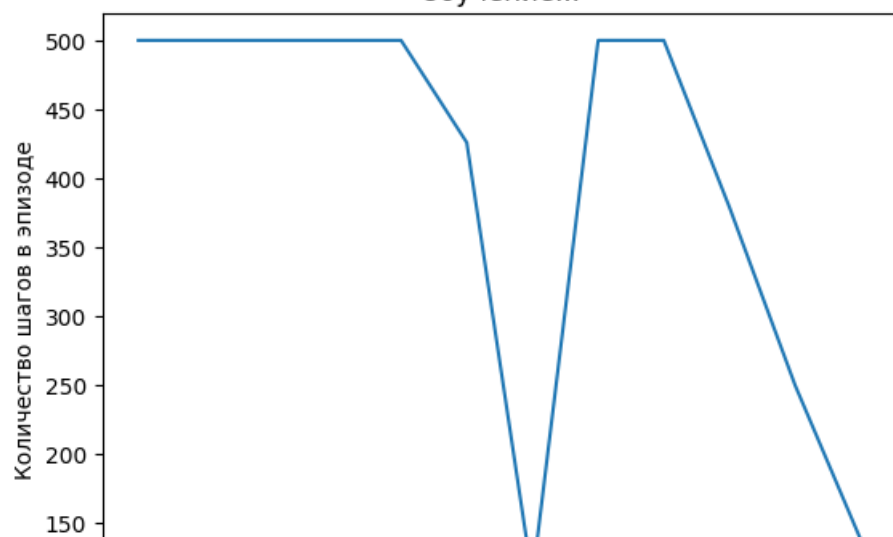
Обучение...

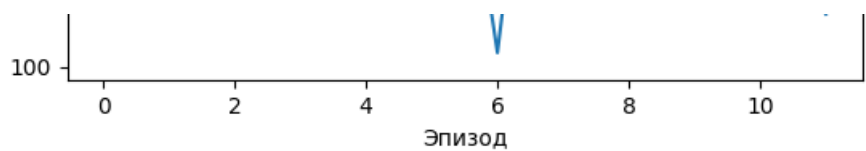


Обучение...

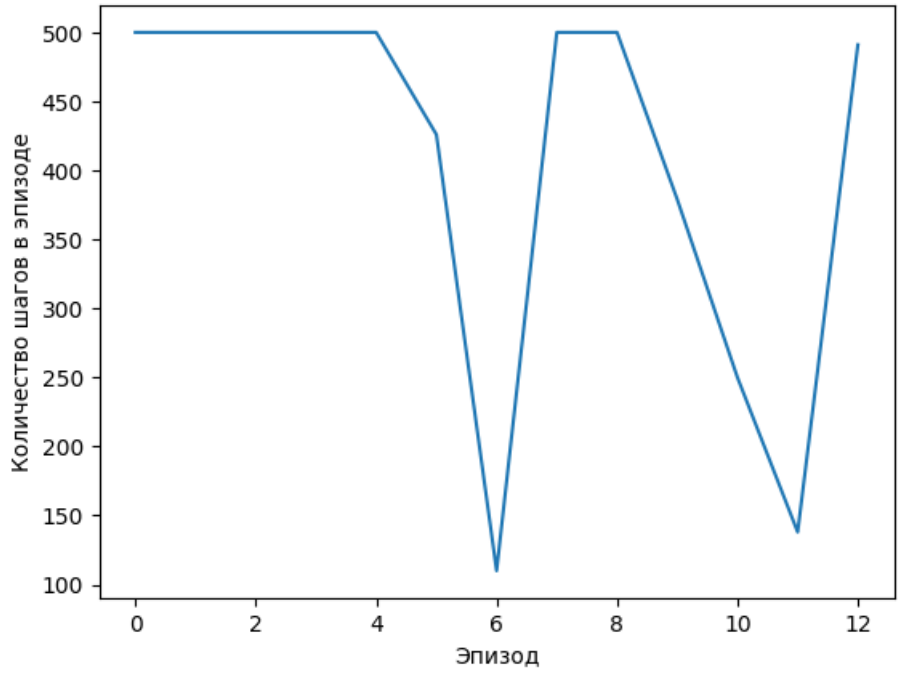


Обучение...

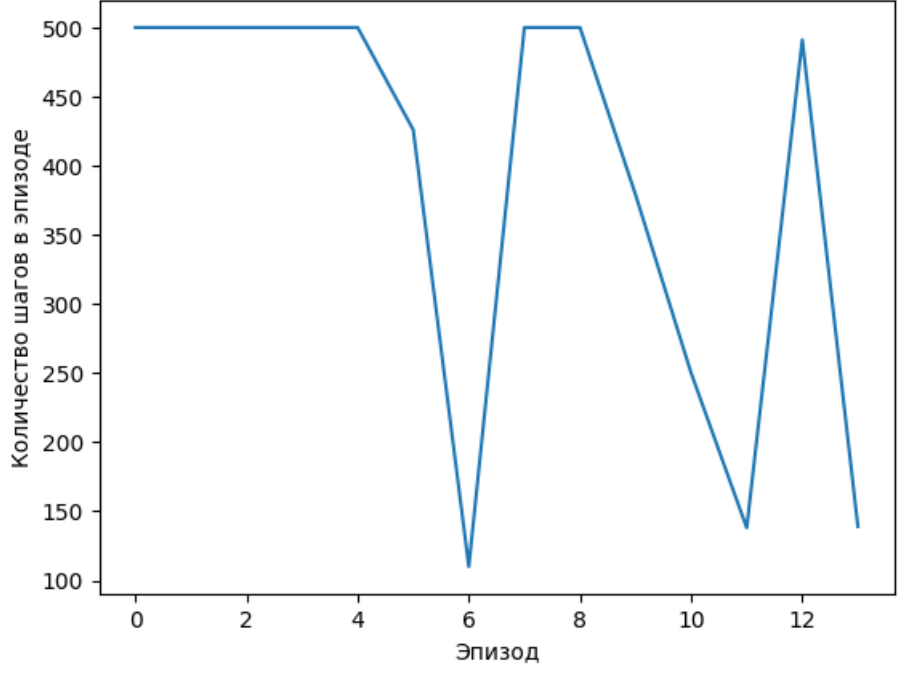




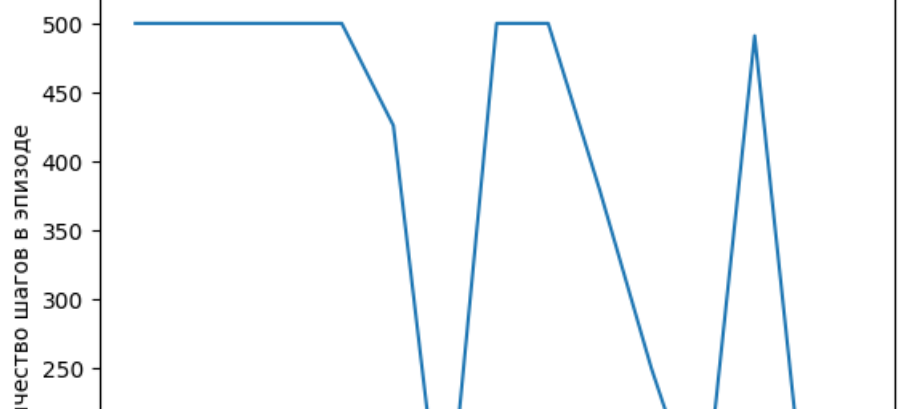
Обучение...

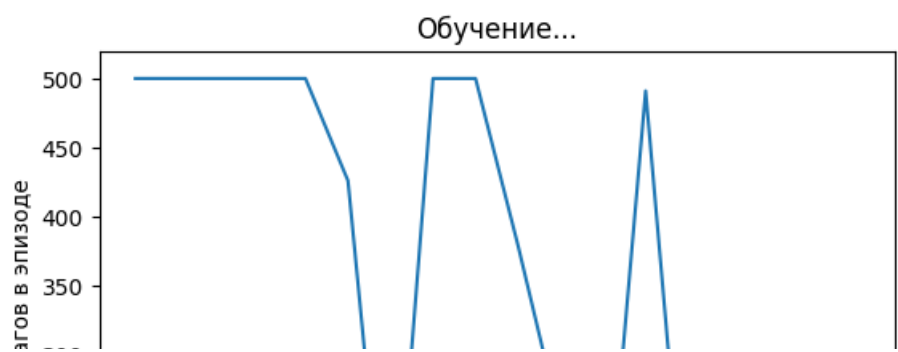
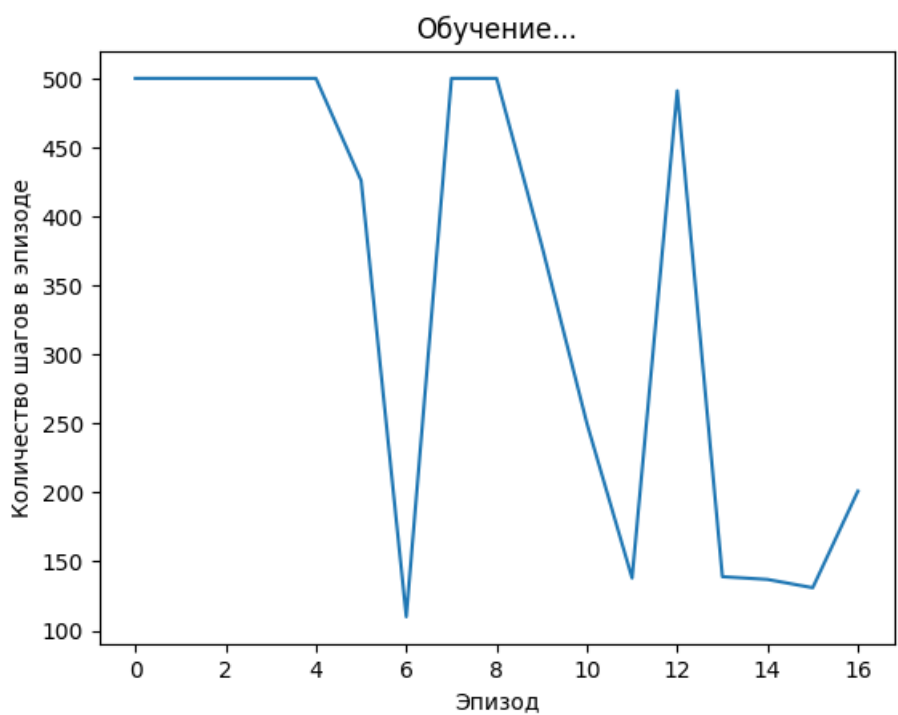
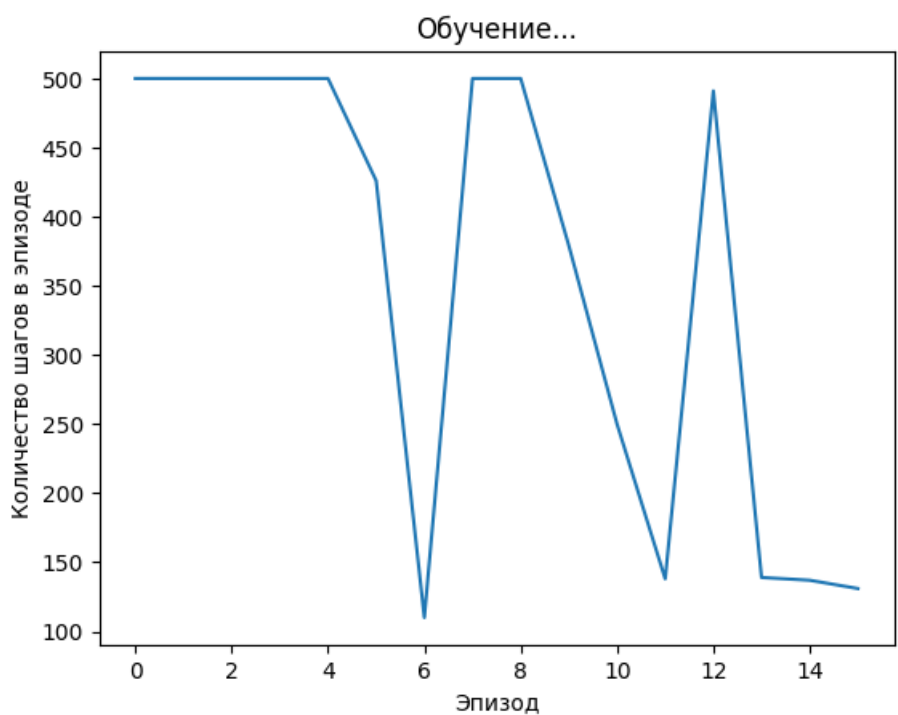
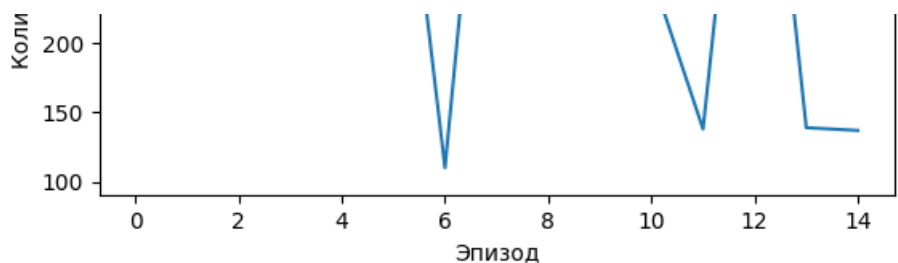


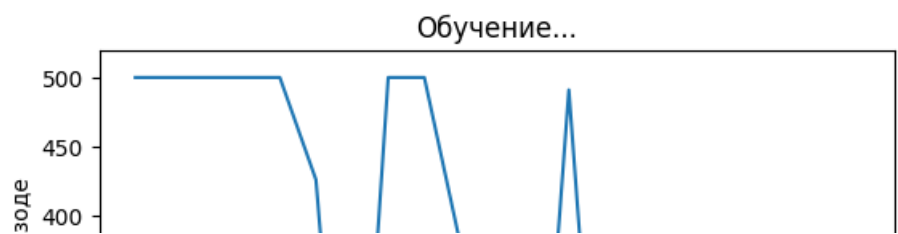
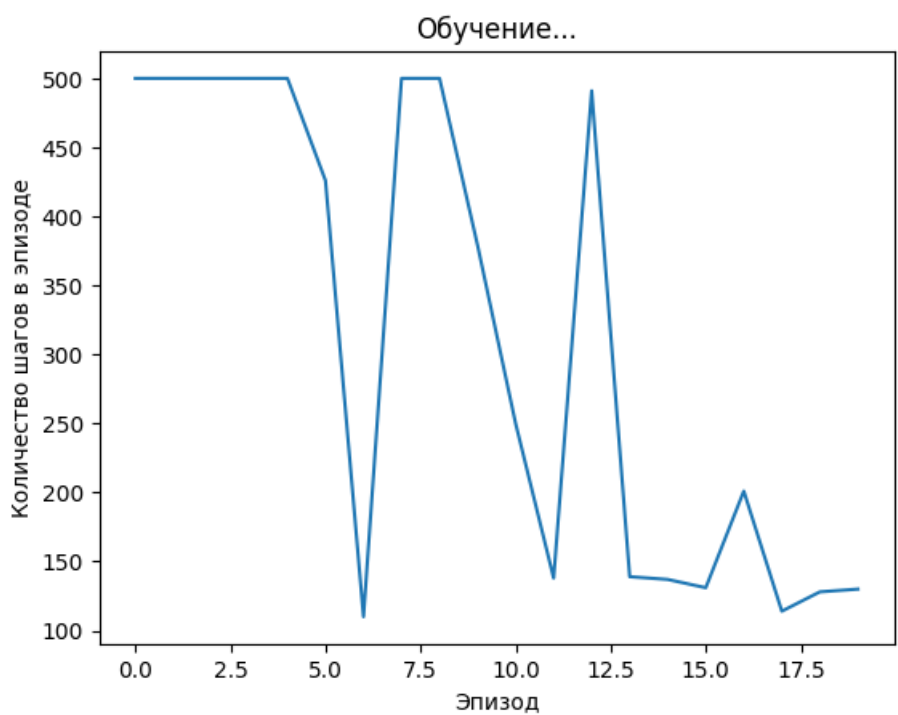
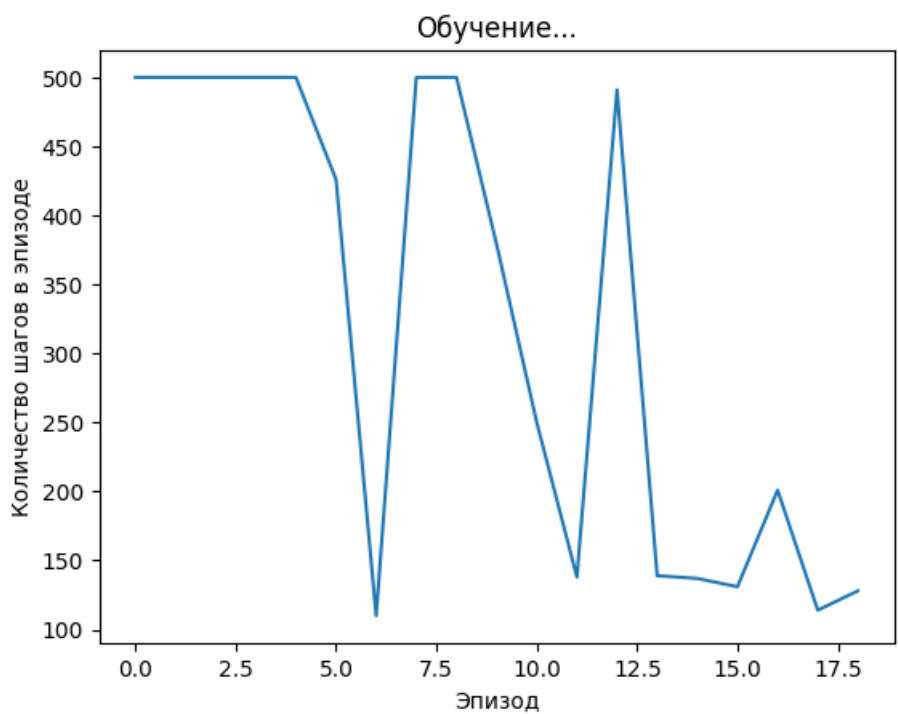
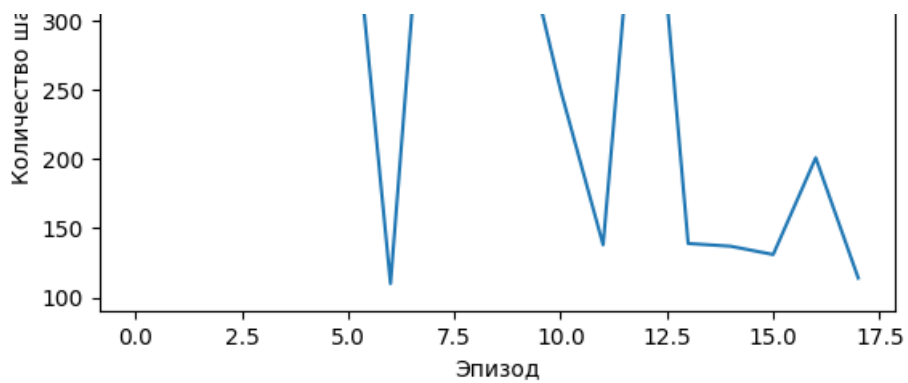
Обучение...

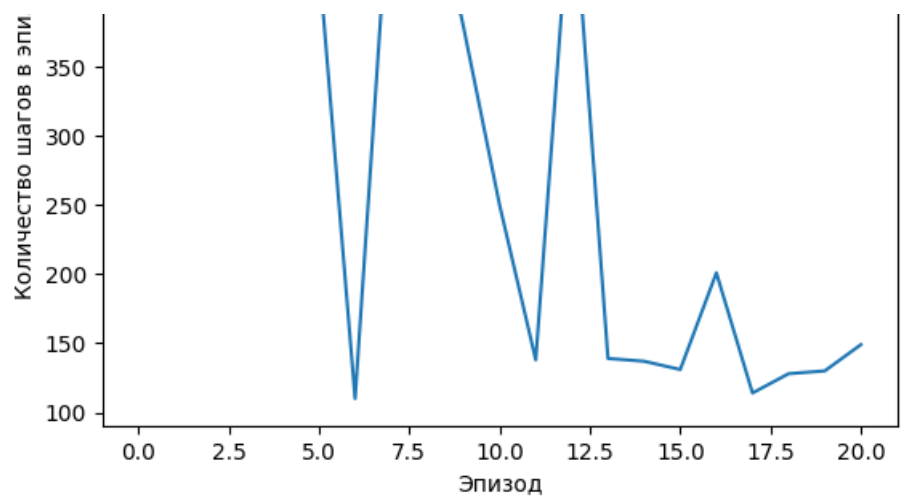


Обучение...

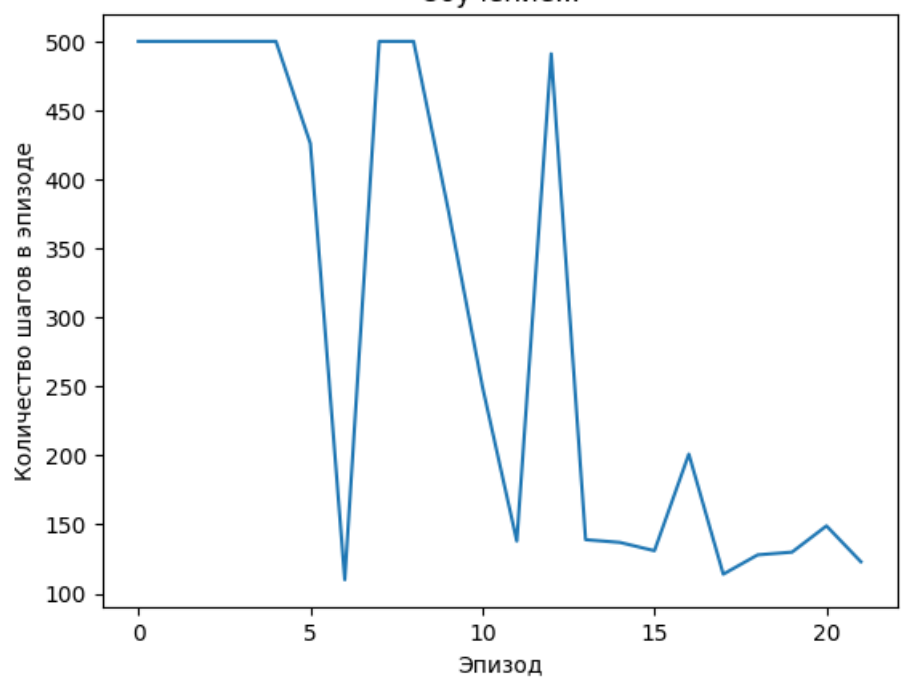




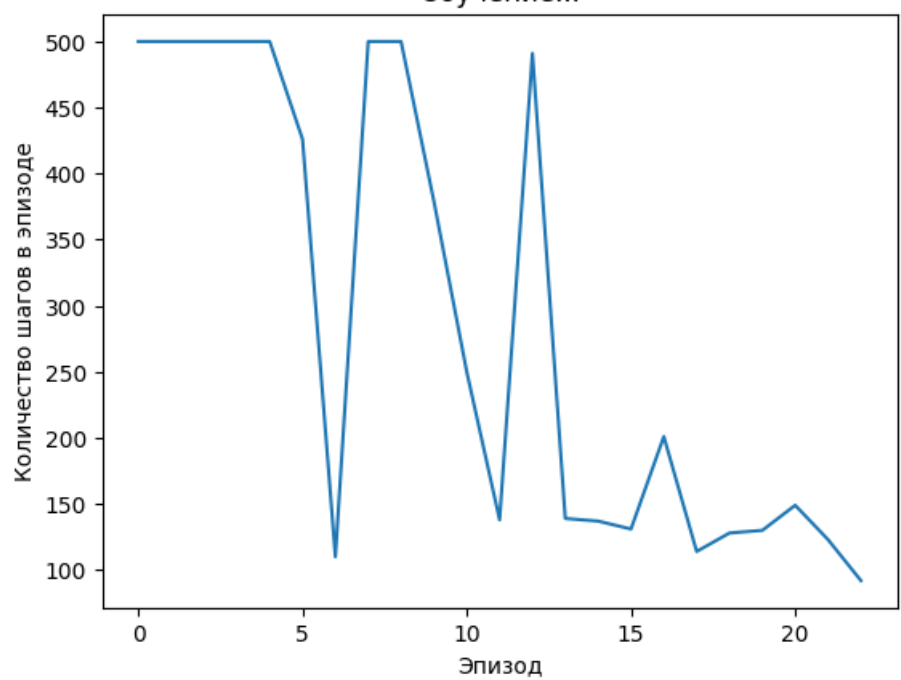




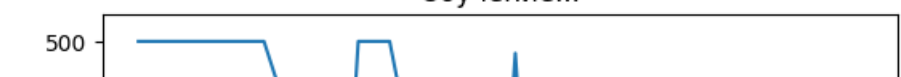
Обучение...

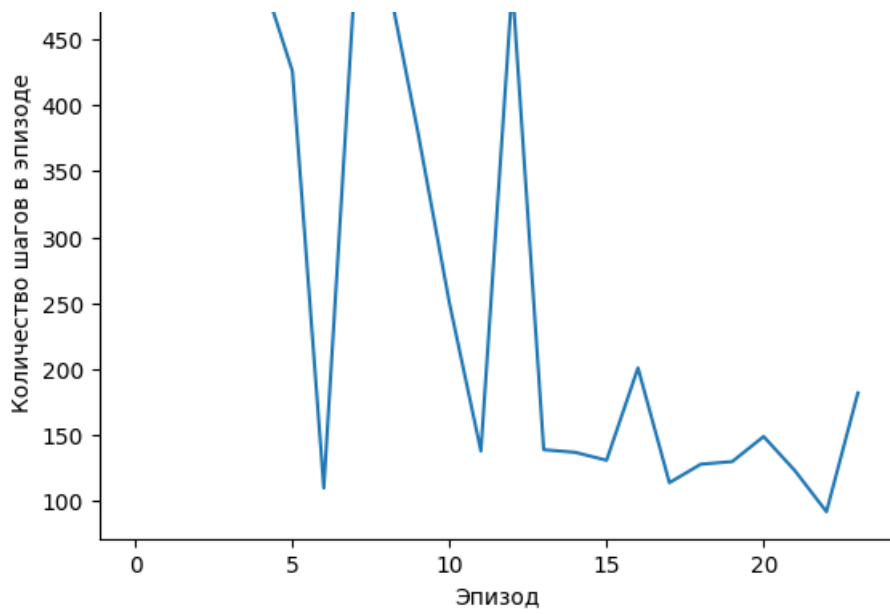


Обучение...

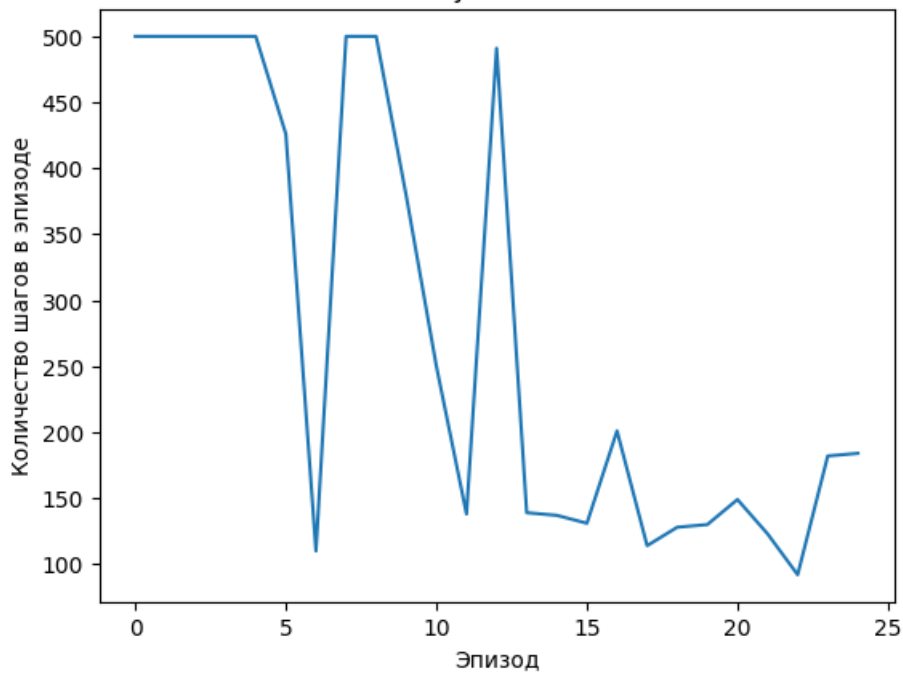


Обучение...

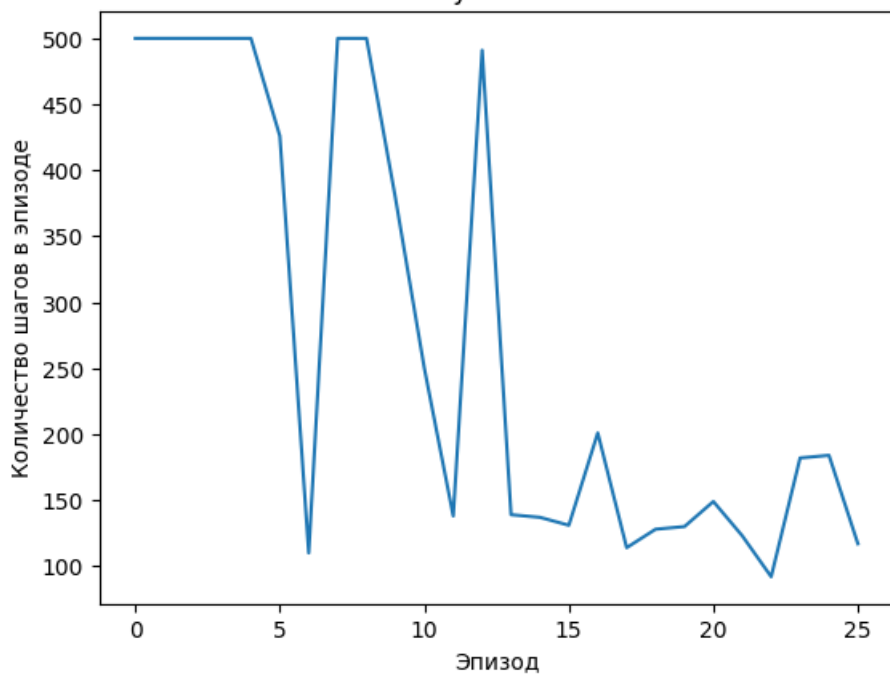




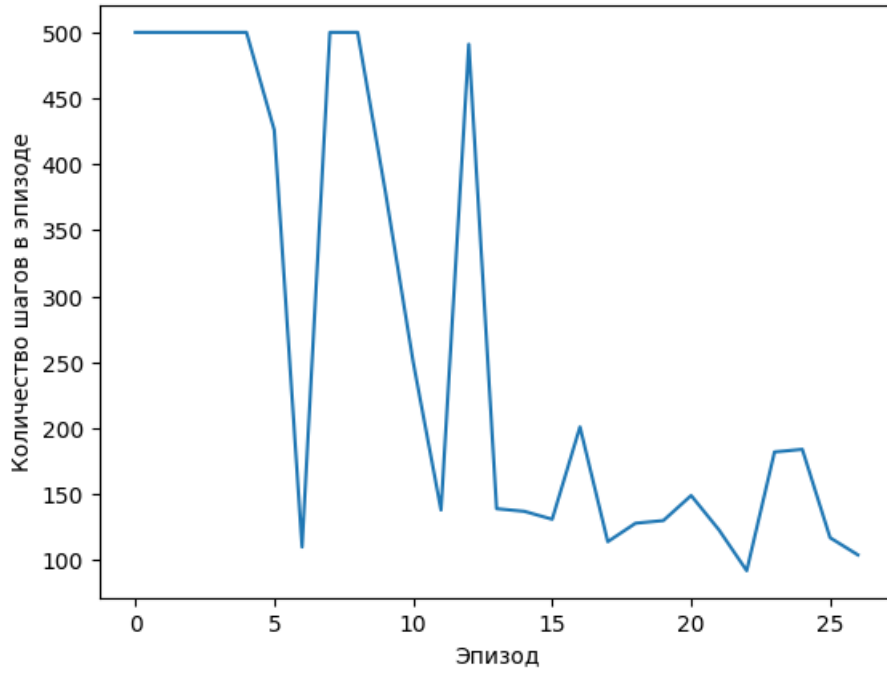
Обучение...



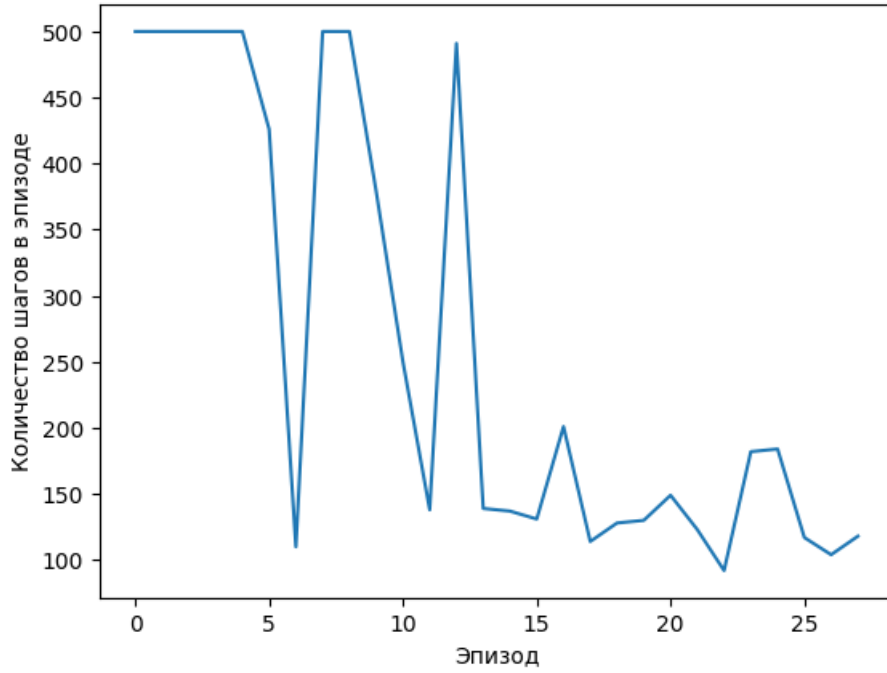
Обучение...



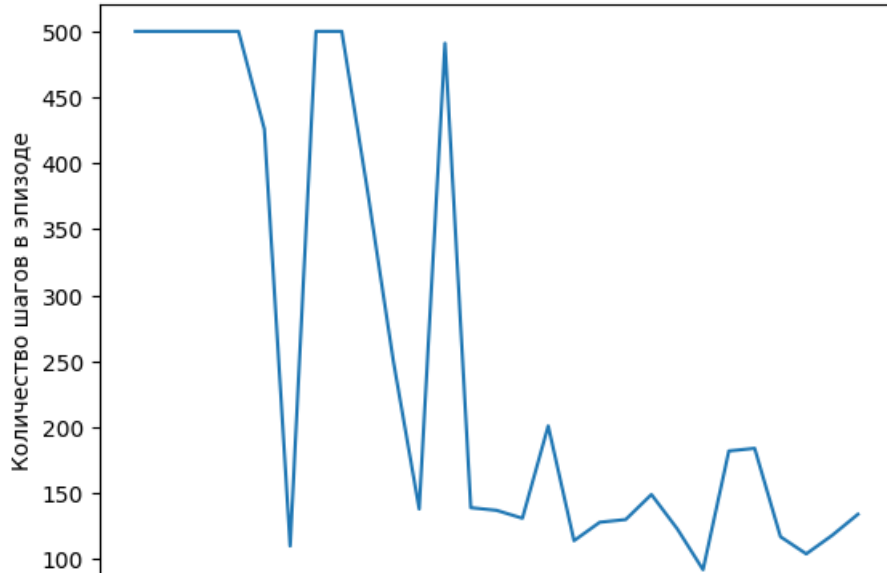
Обучение...

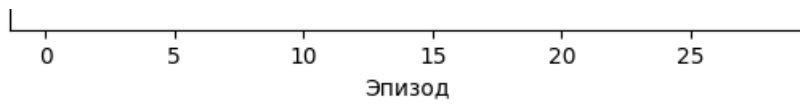


Обучение...

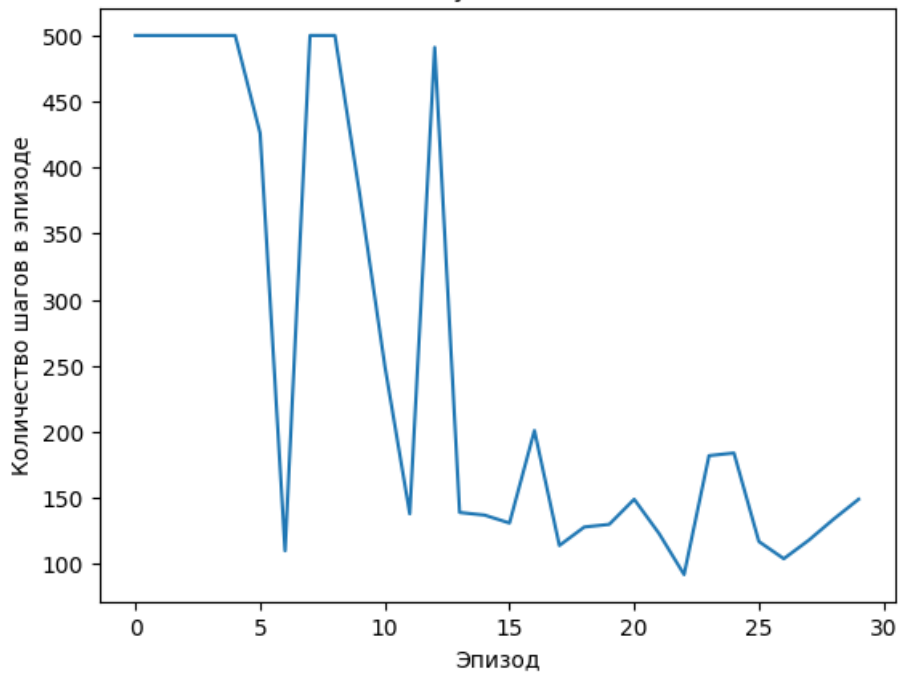


Обучение...

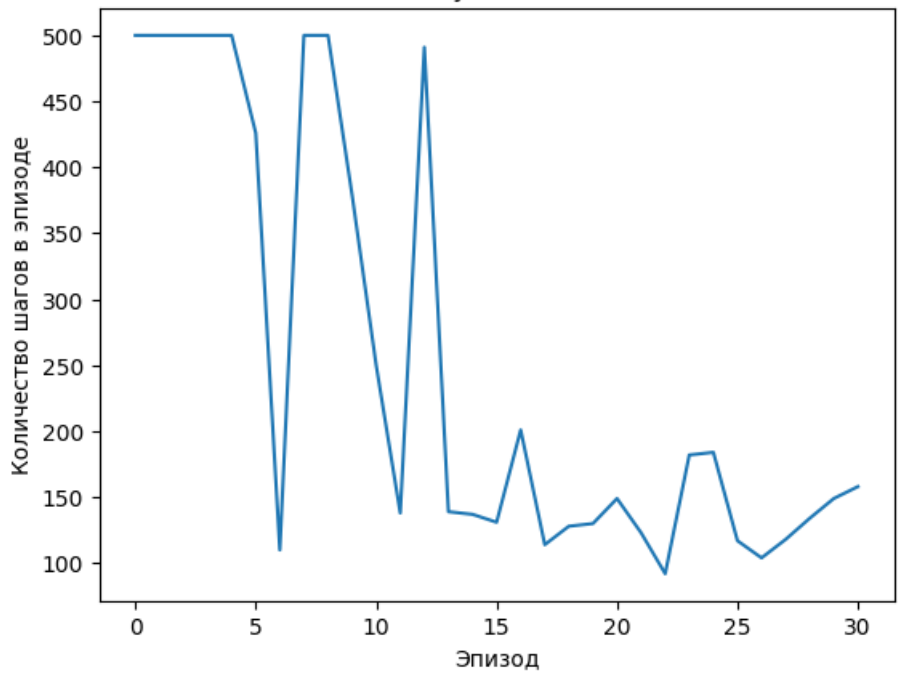




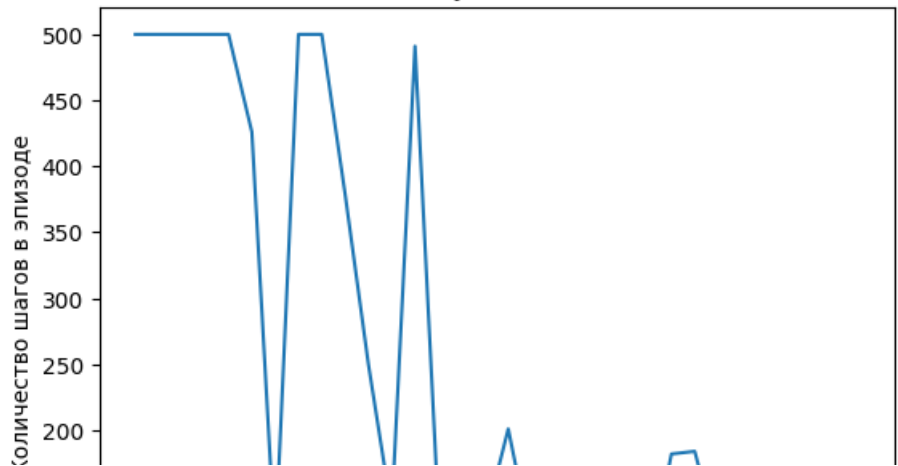
Обучение...

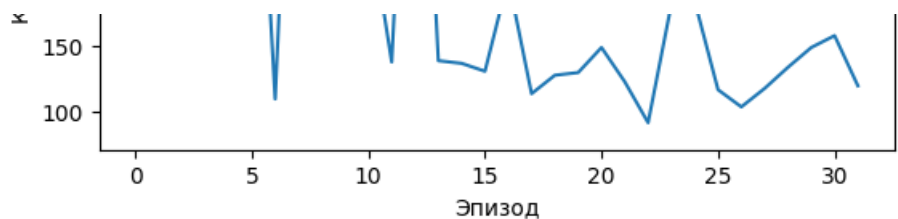


Обучение...

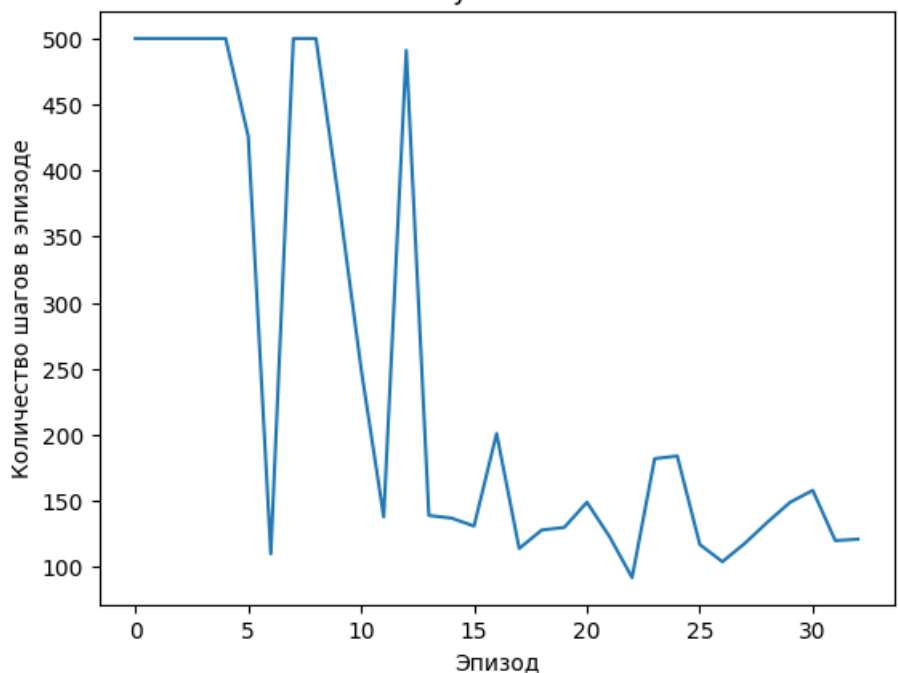


Обучение...

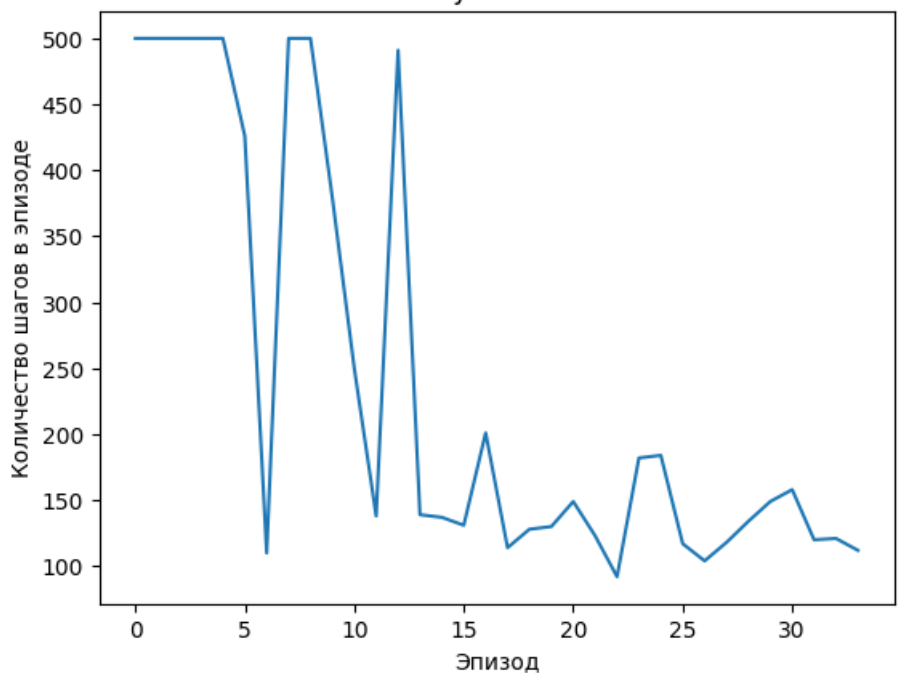




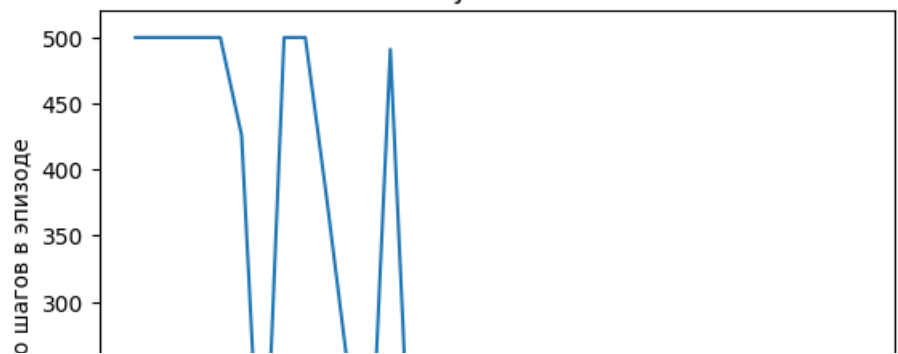
Обучение...

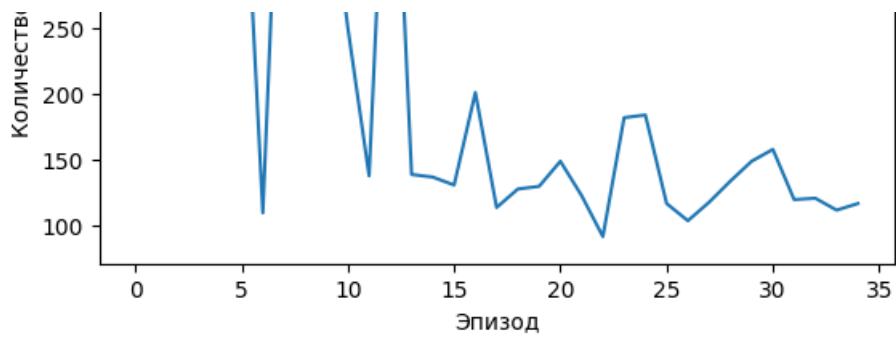


Обучение...

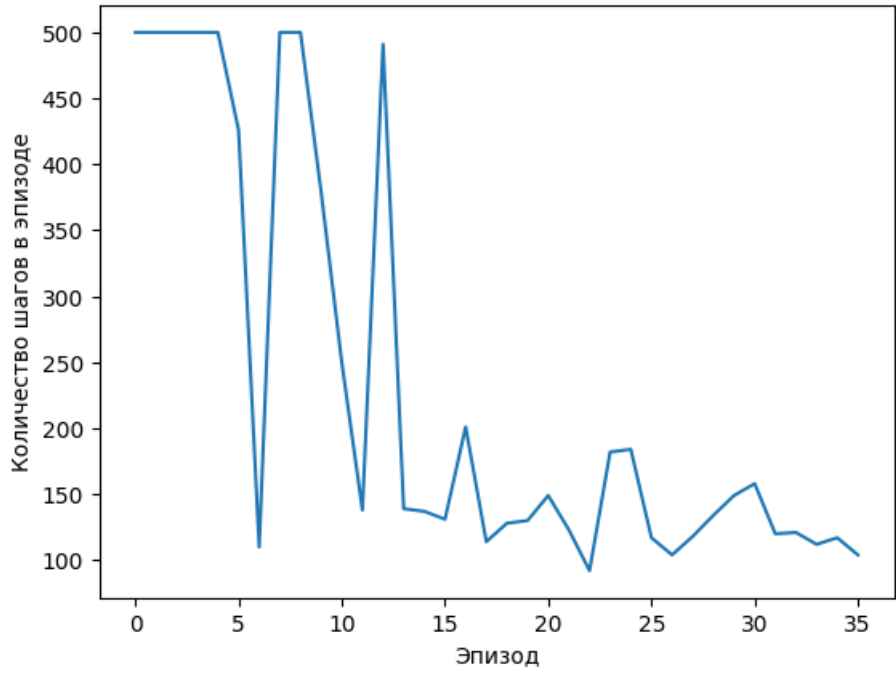


Обучение...

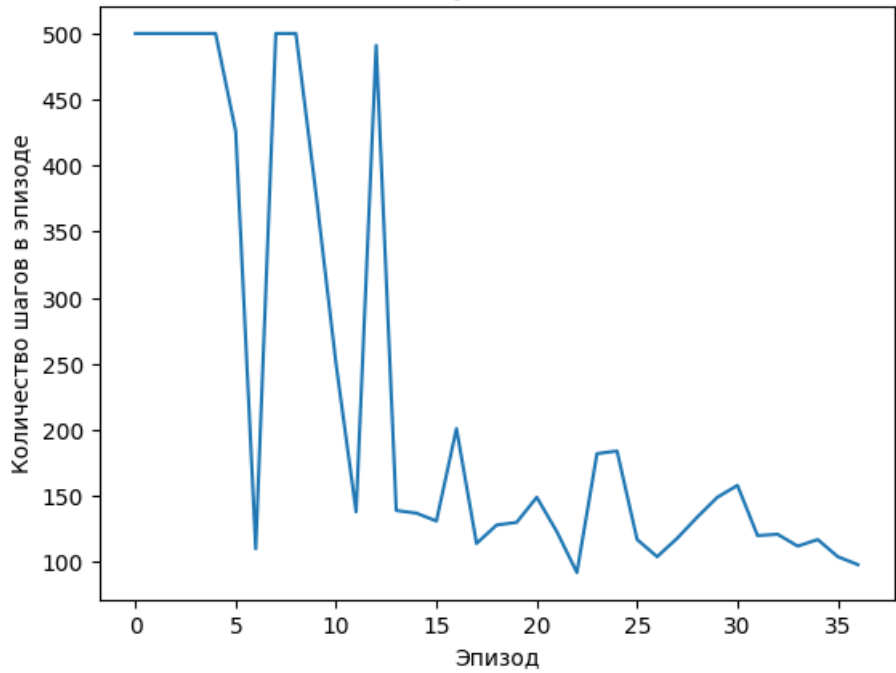




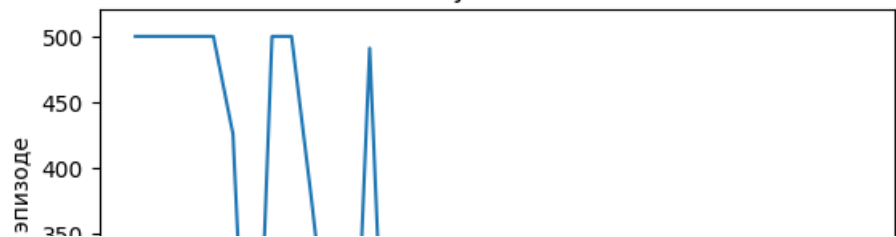
Обучение...

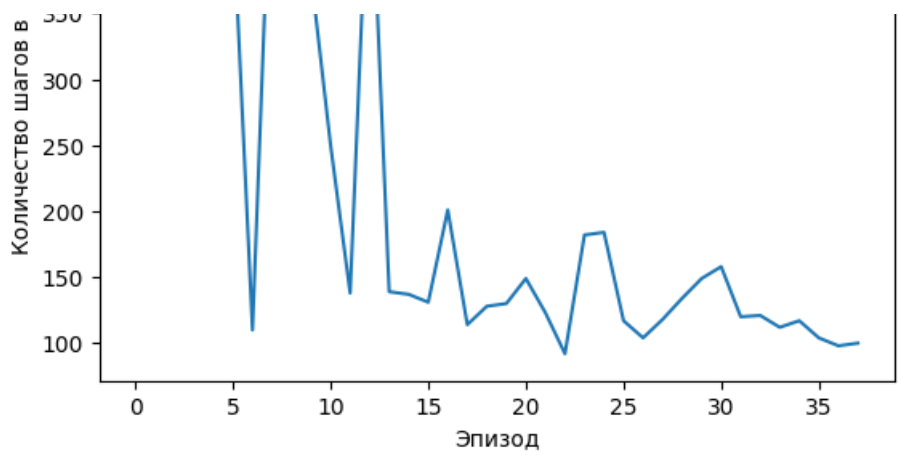


Обучение...

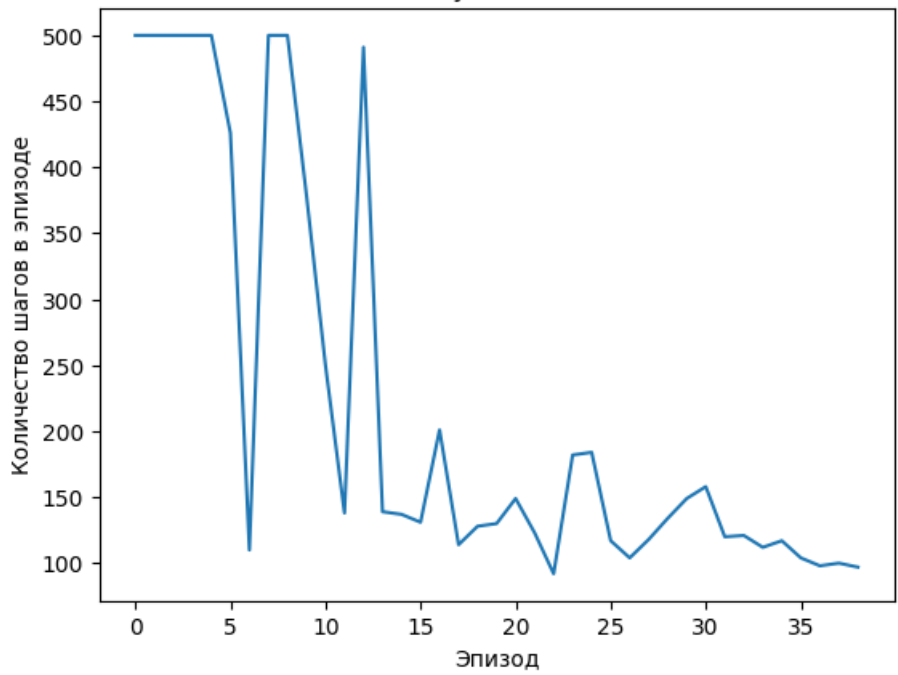


Обучение...

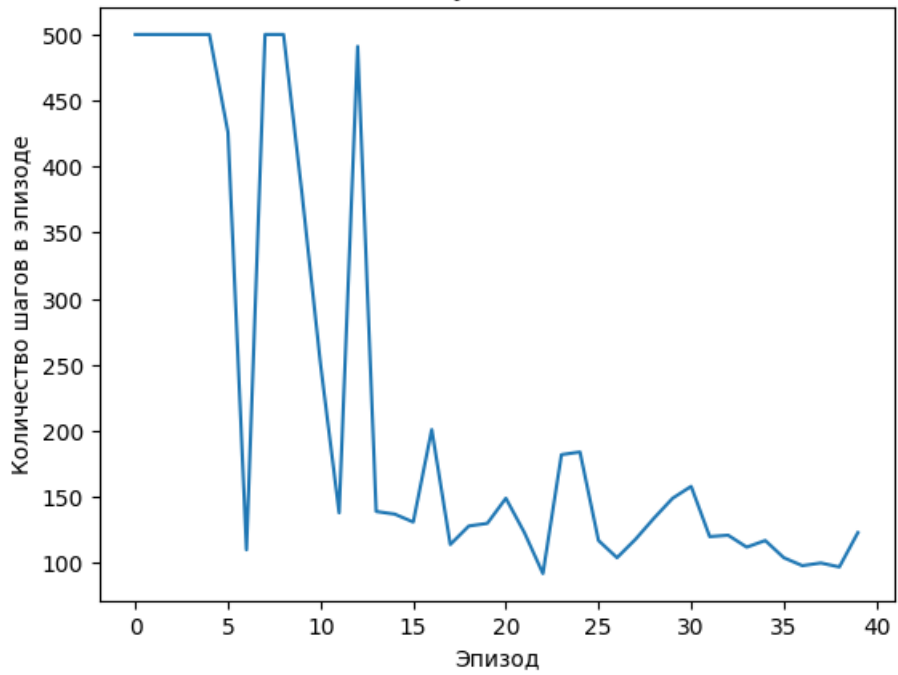




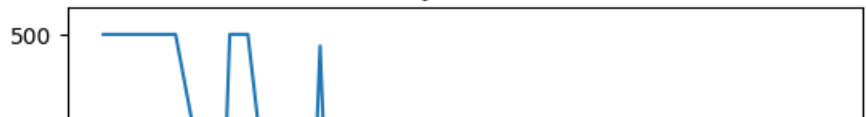
Обучение...

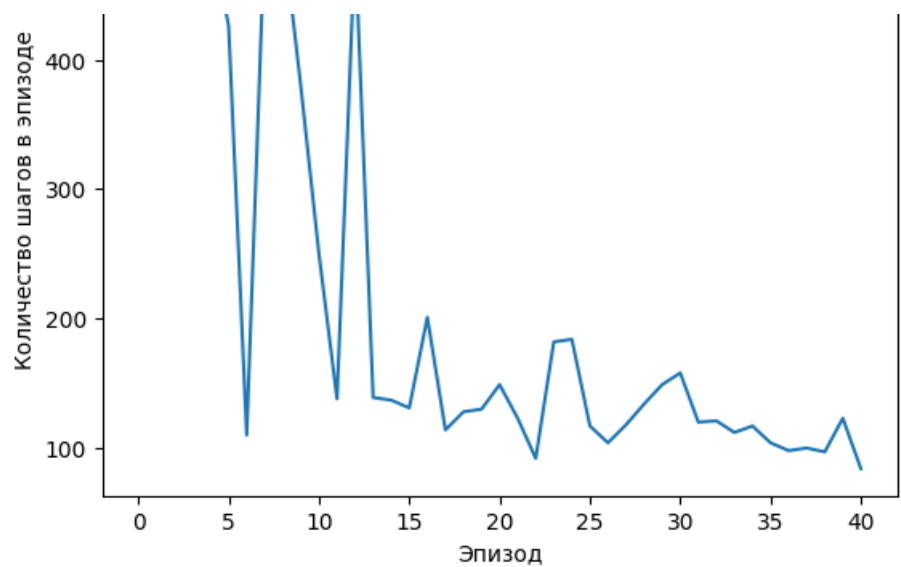


Обучение...

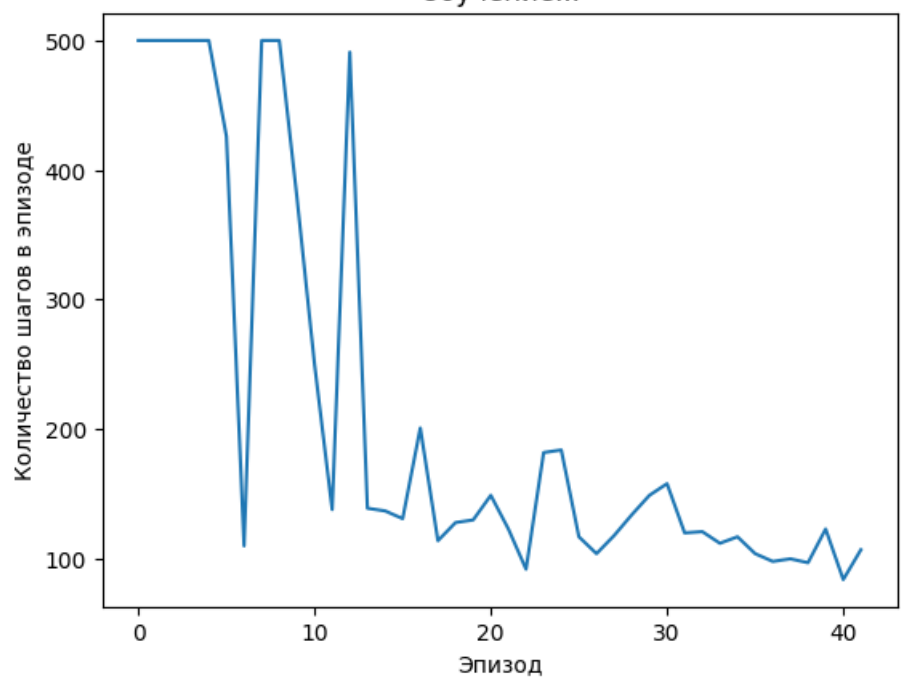


Обучение...

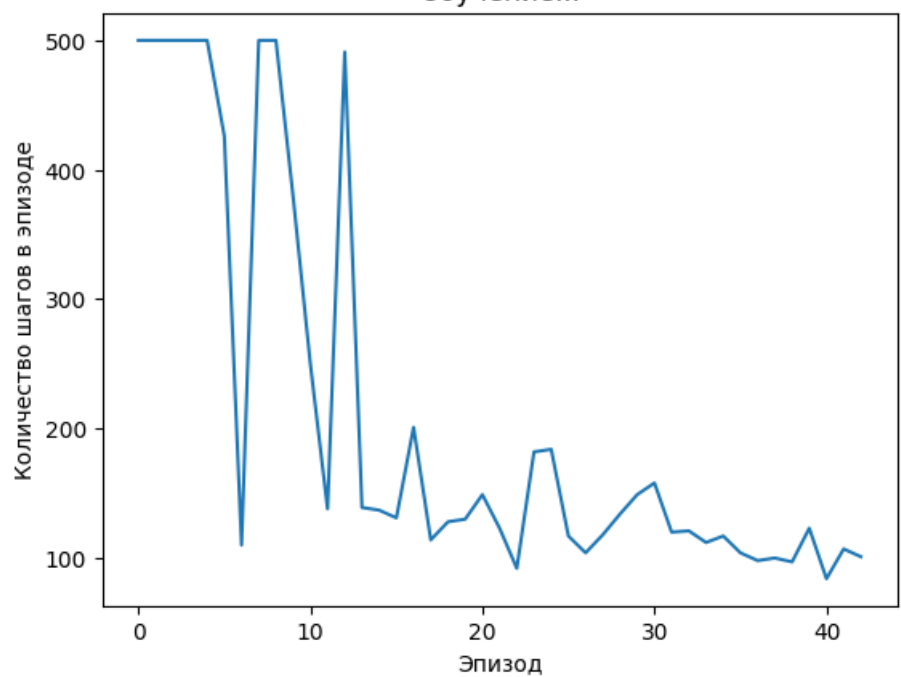




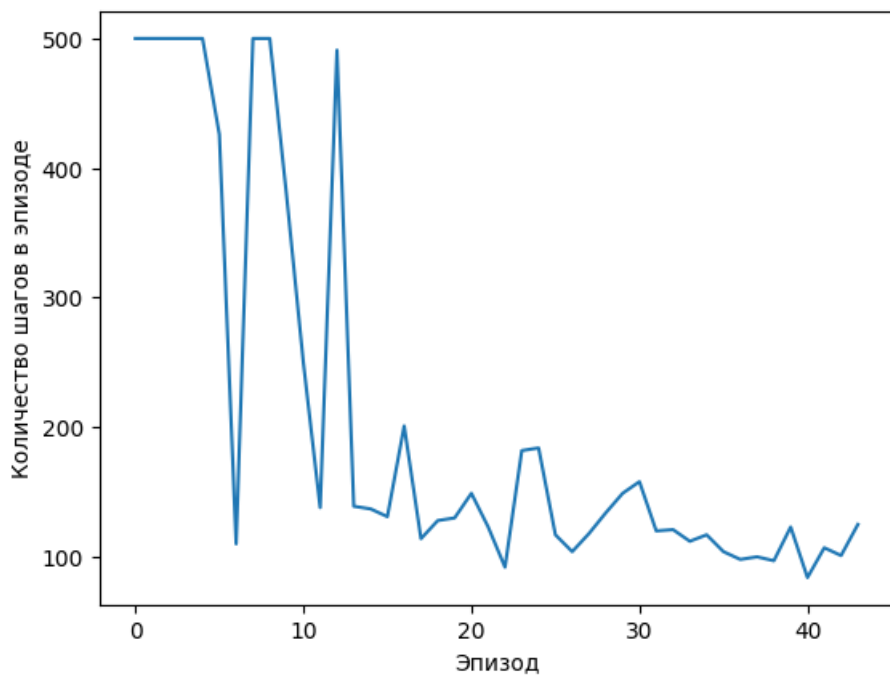
Обучение...



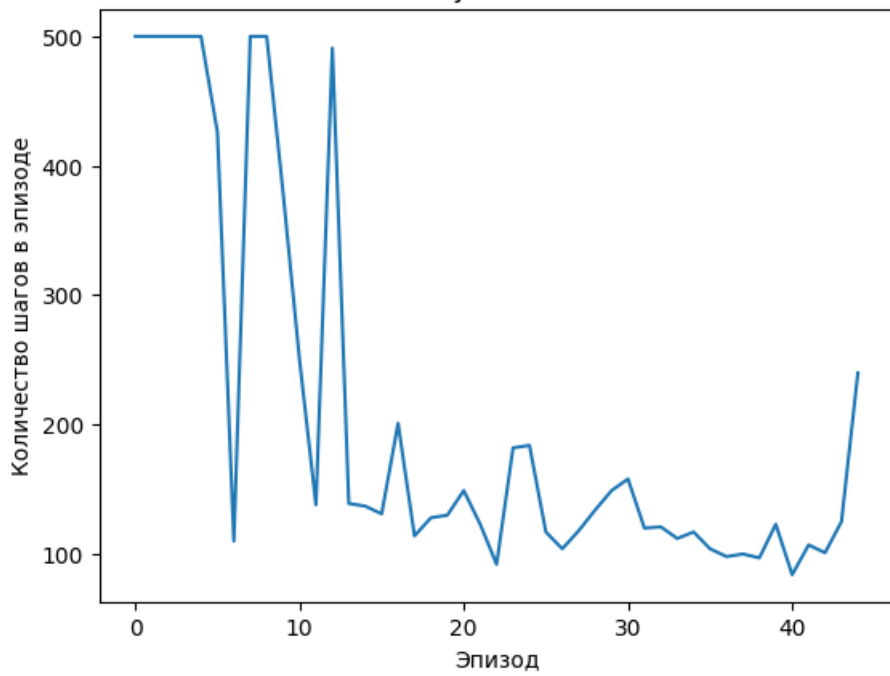
Обучение...



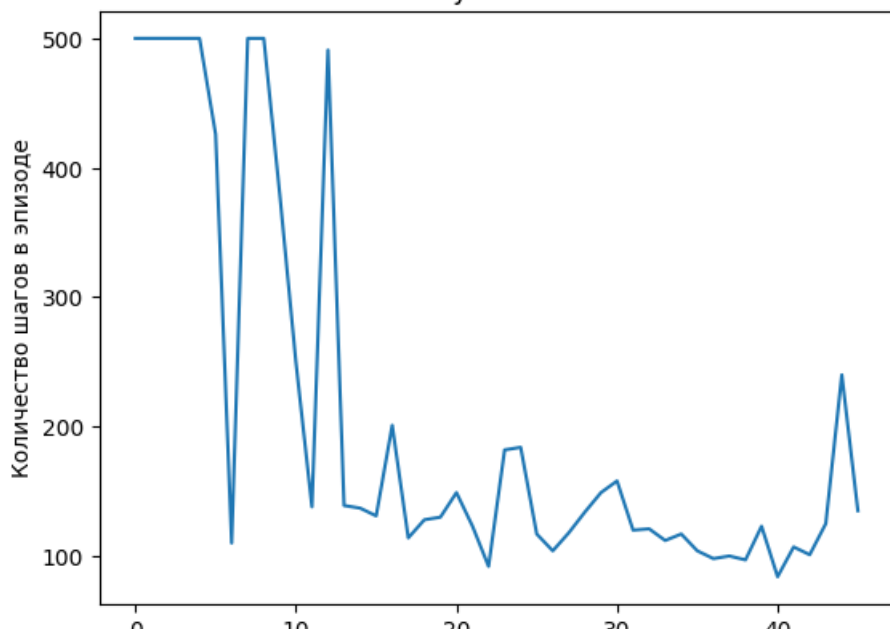
Обучение...



Обучение...

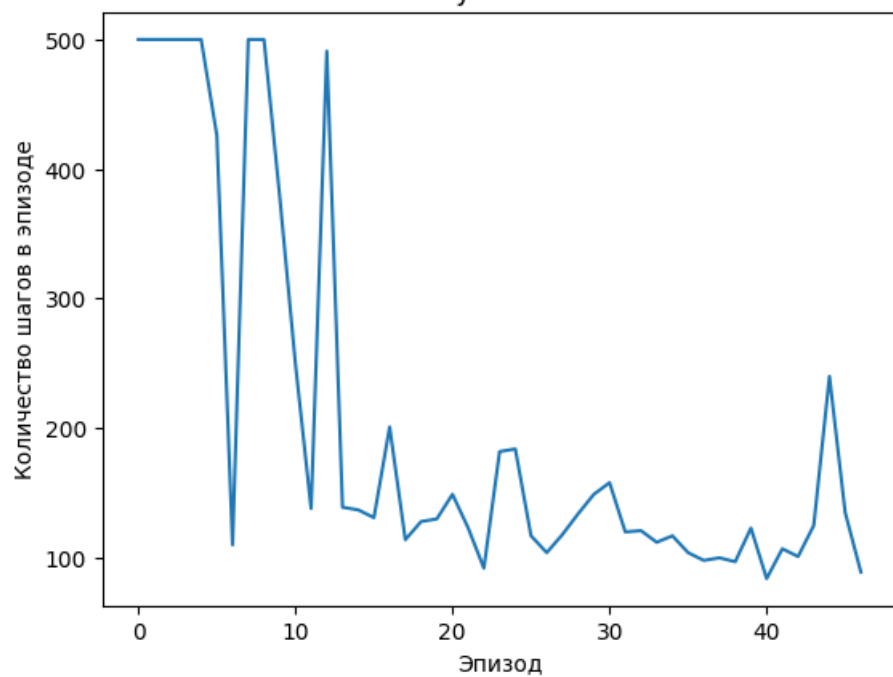


Обучение...

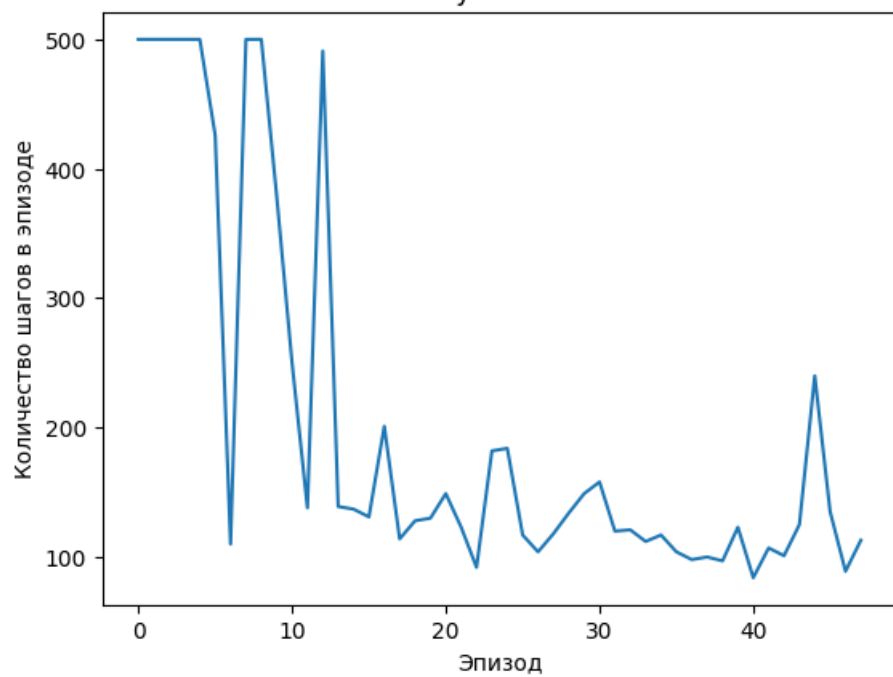


0 10 20 30 40
Эпизод

Обучение...



Обучение...



Обучение...

