

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Кафедра дискретной математики и информационных технологий

**СТРАТЕГИИ АТАКИ САМОДВИЖУЩИХСЯ МИН
КУРСОВАЯ РАБОТА**

студента 3 курса 321 группы
направления 09.03.01 — Информатика и вычислительная техника
факультета КНиИТ
Голубкова Артема Анатольевича

Научный руководитель
доцент

В. В. Кирьяшкин

Заведующий кафедрой
доцент, к. ф.-м. н.

Л. Б. Тяпаев

Саратов 2025

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1 Описание стратегий	5
1.1 Жадная	5
1.2 Зигзагообразная стратегия	6
1.3 Спиральная	7
1.4 Стратегия фланговой атаки	7
1.5 Стратегия Random	9
1.6 Спиральный зигзаг	9
2 Сравнительное исследование стратегий	11
2.1 Анализ стратегий при двух минах	12
2.2 Анализ стратегий при трёх минах	14
3 Направления для дальнейших исследований	18
3.1 Ролевое моделирование поведения мин	18
3.2 Применение методов искусственного интеллекта	19
3.3 Моделирование в трёхмерном пространстве	19
3.4 Дополнительные предложения	19
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	21
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	23

ВВЕДЕНИЕ

Современные вооружённые конфликты наглядно демонстрируют возросшую роль автономных роботизированных систем в обеспечении наступательных и оборонительных задач. Всё более широкое распространение получают беспилотные катера, дроны-камикадзе и самодвижущиеся мины, используемые как для разведки, так и для прицельного поражения объектов. Особенно перспективной представляется концепция мобильных мин, способных самостоятельно выбирать траекторию сближения с целью. Эти устройства позволяют создавать динамические минные поля и повышать тактическую гибкость на поле боя. Их применение уже активно обсуждается в военных кругах, а по масштабу влияния на тактику они сравниваются с введением авиации в XX веке.

Научное сообщество уделяет значительное внимание разработке моделей поведения автономных агентов в условиях неопределённости. В частности, в литературе представлены различные алгоритмы уклонения и преследования, патрулирования, а также построения эффективных маршрутов. Исследования Chung et al. (2011) систематизируют методы поиска и маневрирования мобильных агентов. Также широко изучаются зигзагообразные и спиральные стратегии сближения, применяемые как в сервисной, так и в военной робототехнике. Эти модели находят применение в задачах покрытия территории, уклонения от препятствий и построения траекторий максимальной живучести. Современные работы в области ройного взаимодействия дополнительно показывают эффективность распределённых систем при согласованных действиях.

Цель курсовой работы — разработать и исследовать математические модели групповой атаки самодвижущихся мин на охраняемую цель с учётом активного противодействия стрелка-защитника. Для этого необходимо:

1. Сформулировать формальные описания шести стратегий движения мин: «жадная» (прямая), зигзагообразная, спиральная, комбинированная (зигзаг + спираль), случайная и дополнительная стратегическая вариация.
2. Реализовать численное моделирование поведения каждой стратегии при фиксированных характеристиках защитника (его реакция и точность стрельбы задаются единообразно для всех экспериментов).
3. Оценить эффективность каждой стратегии по ключевым метрикам:

- доля успешных атак (мин, достигших цели);
 - число выживших мин (выбежавших из зоны поражения);
 - среднее время сближения с целью.
4. Сопоставить результаты моделирования и выявить закономерности между характером манёвра и итоговой эффективностью атаки.

1 Описание стратегий

В данной главе рассматриваются различные стратегии движения самоходных мин, используемых для сближения с целью. Выбор эффективной траектории имеет решающее значение при преодолении активной обороны: от характера движения мины зависят её шансы на достижение цели и выживание в процессе атаки.

Каждая стратегия представляет собой определённый поведенческий шаблон, реализующий ту или иную тактику приближения: от простого прямолинейного курса до сложных манёвров с элементами уклонения и обхода. Стратегии отличаются как геометрией траектории, так и уровнем сложности реализации.

В рамках исследования предполагается, что:

- цель (стрелок) зафиксирована в центре условного поля боя, координаты $(x_0, y_0) = (0, 0)$;
- мины инициализируются по равномерному распределению на окружности фиксированного радиуса R вокруг цели;
- каждая мина действует автономно, без взаимодействия с другими;
- защитник реагирует на приближение мин, пытаясь поразить их до достижения центра.

Таким образом, каждая мина стартует из точки $(x_i, y_i) = (R \cos \varphi_i, R \sin \varphi_i)$, где угол φ_i определяется равномерным делением окружности между n минами. Стартовое расположение соответствует классическим моделям обороны периметра, где противник окружён атакующими по кругу.

В следующих подразделах приведены математические модели движения для каждой стратегии, а также обсуждаются их преимущества и ограничения в условиях моделируемого конфликта.

1.1 Жадная

Жадная стратегия представляет собой прямолинейное движение мины в направлении на цель. Предполагается, что цель находится в начале координат $(0, 0)$, а мина — в точке $\mathbf{r}(0)$. Тогда на каждом такте направление движения мины совпадает с вектором $\mathbf{r}(t)$, и её скорость определяется уравнением:

$$\dot{\mathbf{r}}(t) = -v \cdot \frac{\mathbf{r}(t)}{\|\mathbf{r}(t)\|},$$

где v — постоянная скорость мины.

Траектория движения:

$$\mathbf{r}(t) = (R_0 - vt) \cdot \frac{\mathbf{r}(0)}{R_0}, \quad R_0 = \|\mathbf{r}(0)\|.$$

Таким образом, мина движется по кратчайшей траектории — прямой к цели. Данный метод соответствует стратегии чистого преследования (Pure Pursuit), известной в задачах наведения и автономной навигации [?].

Преимущества:

- минимальное время сближения;
- простота реализации;
- эффективность при отсутствии сопротивления.

Недостатки:

- высокая предсказуемость;
- уязвимость для защитника;
- неэффективность против маневрирующей цели.

1.2 Зигзагообразная стратегия

Зигзагообразная стратегия включает периодические боковые отклонения от прямолинейного курса. Пусть \vec{u} — единичный вектор на цель, а \vec{w} — перпендикулярный ему вектор в плоскости. Тогда траектория мины задаётся приближённо следующим выражением:

$$\mathbf{r}(t) = (R_0 - vt) \vec{u} + A \sin(\omega t) \vec{w},$$

где:

- A — амплитуда колебаний;
- ω — угловая частота;
- t — текущий шаг моделирования.

При этом угол курса $\theta(t)$ колеблется вокруг базового направления:

$$\theta(t) = \alpha(t) + A \cdot \sin\left(\frac{t}{T}\right),$$

где T — период колебаний, $\alpha(t)$ — базовый угол на цель.

Такая стратегия имитирует поведение маневрирующих боеприпасов и

используется для повышения живучести за счёт усложнения прицеливания [?].

Преимущества:

- меньшая предсказуемость движения;
- усложнение наведения стрелка;
- повышенная выживаемость при приближении.

Недостатки:

- увеличенная длина траектории;
- снижение скорости сближения;
- более сложная реализация.

1.3 Спиральная

Мины появляются на окружности радиуса 350 вокруг центра цели. В каждый момент вектор скорости \vec{v} задается сочетанием радиальной и тангенциальной составляющих:

$$\vec{v} = v_r \vec{u}_r + v_\theta \vec{u}_\theta,$$

где $v_r = 1.5$, $v_\theta = 3.0$. Итоговая скорость масштабируется до $2v_0$ (где $v_0 = \text{MINE_SPEED}$). **Преимущества:**

- Высокая скорость сближения с целью за счет значительной радиальной составляющей.
- Сложная траектория, затрудняющая предсказание (благодаря сочетанию радиальной и тангенциальной скоростей).

Недостатки:

- Траектория полностью детерминирована (не содержит рандомизации) и становится предсказуемой при многократном использовании.

1.4 Стратегия фланговой атаки

В стратегии *Flank* каждая мина не движется по прямой к центру, а корректирует направление на цель на угол $\pm\pi/3$ (60°). Если мина в полярных координатах стартует под углом φ (точка $x = R \cos \varphi$, $y = R \sin \varphi$), то её базовый угол на центр равен $\varphi + \pi$. Применяя фланговый манёвр, итоговый угол движения задаётся как:

$$\alpha = \varphi + \pi \pm \frac{\pi}{3}.$$

Скорость мины принимается равной $0.9v_0$, где $v_0 = \text{MINE_SPEED}$ — базовая скорость. Тогда координаты мины в момент времени t описываются уравнениями прямолинейного движения:

$$x(t) = R \cos \varphi + 0.9v_0 t \cos \alpha, \quad y(t) = R \sin \varphi + 0.9v_0 t \sin \alpha.$$

Траектория такой мины — прямая линия, направленная со смещением 60° от радиуса, что соответствует фланговому обходу цели (при $\alpha = \varphi + \pi \pm \frac{\pi}{3}$ — влево или вправо). Фланговые подходы часто рассматриваются в ройных системах как продвинутые манёвры для поиска слабых мест в обороне: мина будто «пробует» обойти защитника сбоку, а не атакует по самому короткому пути.

Преимущества:

- фланговая траектория позволяет атаковать центр под другим углом, минуя наиболее защищённую ось;
- центр обороны остаётся сравнительно слабозащищённым, что даёт шанс на прорыв;
- затрудняется точное прицеливание по мине, если защитник ориентирован на прямой путь.

Недостатки:

- траектория детерминирована и со смещением на фиксированный угол, предсказуема при известной стратегии;
- скорость $0.9v_0$ ниже максимальной;
- фланговый манёвр увеличивает расстояние до цели, давая больше времени на обнаружение и перехват.

Таким образом, стратегия *Flank* делает атаку менее прямолинейной и может обмануть защитника, сфокусированного на центре, но одновременно снижает скорость и увеличивает путь, что делает её более предсказуемой и медленной.

1.5 Стратегия Random

В стратегии *Random* мины двигаются приблизительно по направлению к центру, однако на каждом шаге их угол движения подбрасывается случайным шумом. Формально это задаётся следующим образом: пусть мина в момент k имеет угол α_k (например, начальный угол $\alpha_0 = \varphi + \pi$), тогда на следующем шаге:

$$\alpha_{k+1} = \alpha_k + \delta_k, \quad \delta_k \sim U(-1.5, 1.5),$$

то есть к базовому углу добавляется случайное отклонение δ_k из равномерного распределения на отрезке $[-1.5, +1.5]$ радиан.

Скорость мины равна $0.8v_0$. Положение мины обновляется по правилам:

$$x_{k+1} = x_k + 0.8v_0 \cos(\alpha_k)\Delta t, \quad y_{k+1} = y_k + 0.8v_0 \sin(\alpha_k)\Delta t,$$

где Δt — длительность одного временного шага. Траектория такой мины напоминает случайное блуждание, направленное в сторону цели. Стратегия *Random* близка к классическому «случайному поиску», применяемому как животными, так и автономными роботами в условиях неопределённости.

Преимущества:

- угловой шум делает траекторию крайне непредсказуемой;
- затрудняется прицеливание и предсказание пути мины защитником;
- повышается вероятность «сюрпризного» приближения к цели.

Недостатки:

- скорость $0.8v_0$ ниже максимальной;
- отклонения от кратчайшего пути увеличивают время подхода;
- несмотря на хаотичность, статистическая структура шума может быть учтена защитником.

1.6 Спиральный зигзаг

Мины стартуют на окружности радиуса 350 в начальной точке ϕ_0 с исходным радиусом R_0 . Радиус $r(t)$ экспоненциально убывает по формуле:

$$r(t) = R_0 e^{-kt}, \quad k = 0.15.$$

Угол $\phi(t)$ меняется линейно: $\phi(t) = \phi_0 + \omega t$ с $\omega = 0.02$. Дополнительно вводится поперечное зигзагообразное смещение с амплитудой $A = 40$ и фазой $\psi(t) = \psi_0 + \delta t$ с $\delta = 0.1$. Поперечное смещение добавляется вдоль направления, перпендикулярного вектору $\vec{r}(t)$. Итоговые координаты мины:

$$x(t) = x_0 + r(t) \cos \phi(t) + A \sin(\psi(t)) \cos(\phi(t) + \pi/2),$$

$$y(t) = y_0 + r(t) \sin \phi(t) + A \sin(\psi(t)) \sin(\phi(t) + \pi/2).$$

Параметры стратегии Spiral Zigzag:

- `speed_multiplier` = 1.2 — общий множитель скорости (увеличивает скорость движения мин в 1.2 раза).
- `spiral_factor` = 0.15 — коэффициент экспоненциального сближения ($k = 0.15$ в формуле $r(t) = R_0 e^{-kt}$).
- `zigzag_amplitude` = 40 — амплитуда бокового синусоидального смещения $A = 40$.
- `zigzag_frequency` = 0.2 — частота флуктуаций зигзага (задает темп колебаний, но непосредственно не используется в формулах).
- `phase_change` = 0.1 — шаг изменения фазы зигзага ($\delta = 0.1$).

В стратегии Spiral Zigzag комбинируются спиральное приближение и боковые синусоидальные колебания. Радиальная часть траектории следует экспоненциальной спирали, что обеспечивает устойчивое уменьшение расстояния до цели. Синусоидальное боковое смещение добавляет эффект обхода фланга: мина совершает колебания относительно радиального направления, что расширяет зону покрытия и усложняет предсказание траектории. Изменение фазы $\psi(t) = \psi_0 + \delta t$ вводит фазовый шум: разные мины получают различные начальные фазы ψ_0 , поэтому их колебания оказываются несинхронизированными. Фазовый шум необходим, чтобы сделать траектории мин уникальными и повысить непредсказуемость их поведения.

2 Сравнительное исследование стратегий

В рамках данной работы была проведена серия вычислительных экспериментов с целью всестороннего анализа и сравнительной оценки эффективности различных стратегий движения самодвижущихся мин в условиях моделируемой атаки на неподвижную мишень. Особое внимание было уделено проверке гипотез о том, как варьируется поведение системы при изменении количества мин и выборе того или иного алгоритма движения. Для достижения достоверных статистических результатов симуляция проводилась многократно — каждая стратегия запускалась по 200 раз, что позволило сгладить случайные колебания и выявить закономерности в поведении мин в рамках той или иной тактики атаки.

Эксперименты проводились в контролируемой симуляционной среде, которая обеспечивает воспроизводимость условий и позволяет точно регистрировать все параметры поведения объектов. В процессе испытаний варьировались следующие ключевые параметры: количество мин (рассматривались случаи с двумя и тремя минами) и стратегия их движения (реализовано несколько алгоритмов, отличающихся логикой маршрута и взаимодействия с мишенью).

Каждый запуск представлял собой отдельный сценарий атаки, в котором мины, начиная из случайных положений, следовали предписанной стратегии. При этом фиксировались такие характеристики, как время достижения мишени, количество уничтоженных мин, среднее расстояние между минами на этапе приближения и прочие параметры, позволяющие комплексно оценить эффективность каждой из стратегий.

Целью данных экспериментов было выявление преимуществ и недостатков различных стратегий в условиях, приближенных к реальным боевым задачам, а также понимание того, каким образом число мин влияет на вероятность успешной атаки и устойчивость системы в целом. Важным аспектом анализа стало также сравнение поведения мин при наличии разведчика или координирующего агента, а также при наличии эффекта взаимодействия между минами.

Полученные результаты были сгруппированы по количеству мин, что позволило отдельно рассмотреть особенности поведения системы при наличии двух и трёх атакующих единиц. Ниже приводятся подробные результаты

анализа для каждого из этих случаев.

2.1 Анализ стратегий при двух минах

На рисунке 1 представлена эффективность стратегий по доле успешно уничтоженных целей при двух минах. Видно, что наилучшие результаты показали стратегии «Спиральный зигзаг» (37,5%) и «Спираль» (35,5%). Стратегия «Зигзаг» продемонстрировала умеренный успех (17,5%), тогда как «Фланг» и «Рандом» оказались менее эффективными (около 5,5% и 3,5% соответственно). При использовании «Жадного алгоритма» (прямая атака) ни разу не удалось уничтожить цель (0% успеха).

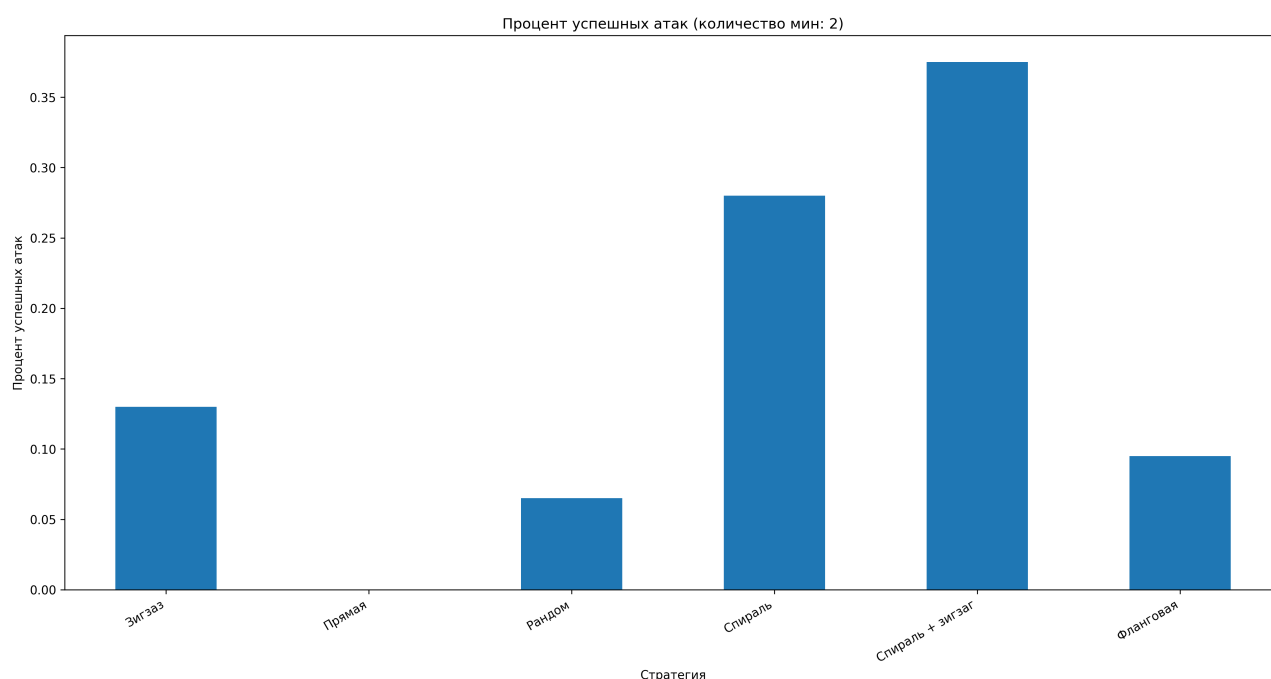


Рисунок 1 – Успешность атак при двух минах для различных стратегий.

Рисунок 2 иллюстрирует среднее число выживших мин после атаки. Стратегия «Спиральный зигзаг» обеспечивает наибольшее число выживших (1,03 из 2 мин в среднем), что существенно выше, чем у других стратегий. «Спираль» сохраняет в среднем 0,37 мины, а стратегии «Зигзаг», «Фланг» и «Рандом» — примерно по 0,17, 0,07 и 0,05 мин соответственно. Для «Жадного алгоритма» среднее число выживших равно нулю (мины всегда терялись без уничтожения цели).

На рисунке 3 показано среднее время уничтожения цели в кадрах. Стратегия «Спиральный зигзаг» требует существенно большего времени (896 кадров) по сравнению с другими. Другие эффективные стратегии достигают цели

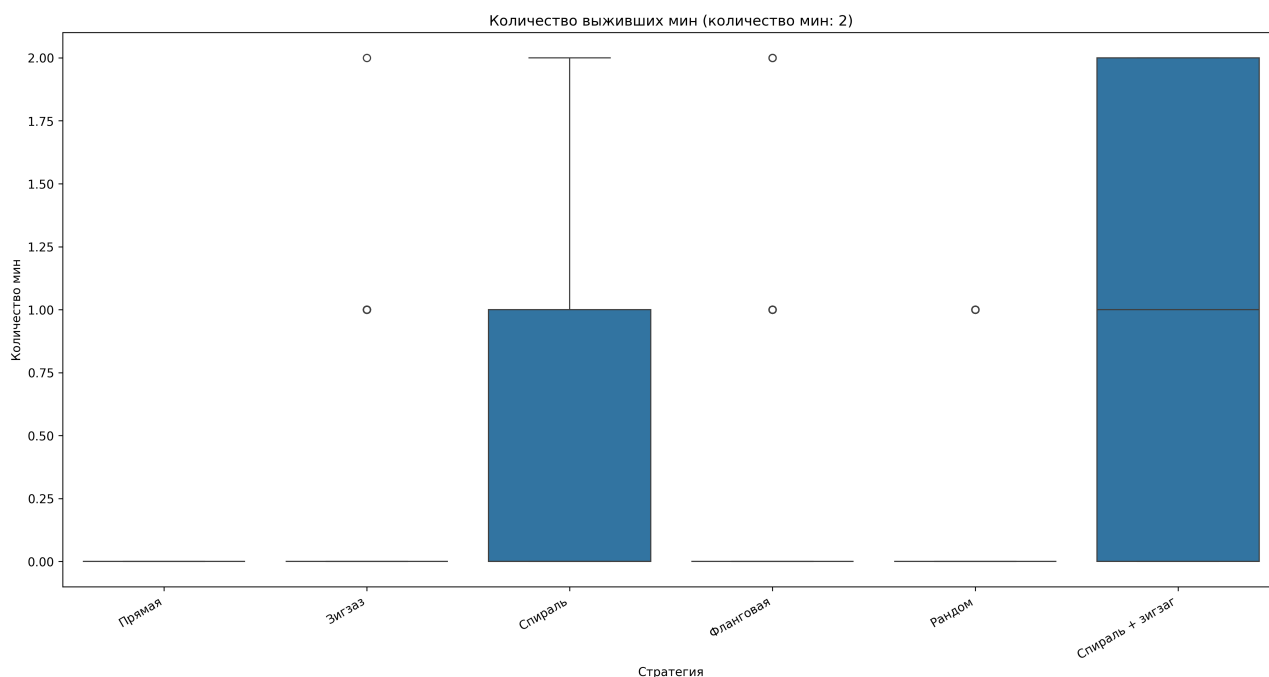


Рисунок 2 – Среднее число выживших мин при двух минах.

быстрее: «Спираль» 434 кадра, «Зигзаг» 473 кадра. Например, «Фланг» достигает цели примерно за 373 кадра. Быстрейшие атаки наблюдаются у «Жадного алгоритма» (122 кадра), хотя у этой стратегии никогда не было ни одной успешной атаки.

Стратегия «Прямая» (жадный алгоритм) при двух минах показала 0% успешных атак. Среднее время уничтожения цели не имеет смысла (цель не уничтожалась ни разу). Среднее число выживших мин равно 0 (все мины терялись в процессе атаки).

Стратегия «Зигзаг» показала успешность 17,5% при двух минах. Среднее время уничтожения цели составляет 7,568 секунд. Среднее число выживших мин около 0,175 (то есть в среднем чуть меньше 0,2 мины из двух переживают атаку).

Стратегия «Рандом» продемонстрировала низкую успешность 3,5%. Среднее время уничтожения цели среди успешных атак 6,736 секунд, а среднее число выживших мин 0,045 (мины почти всегда теряются).

Стратегия «Спираль» при двух минах имеет высокую успешность 35,5%. Среднее время уничтожения цели составляет 6,944 секунд. Среднее число выживших мин примерно 0,37 (около трети мин в среднем остаются).

Стратегия «Спираль+Зигзаг» показала наибольший процент успешных атак 37,5%. Однако для этого требуется значительно больше времени:

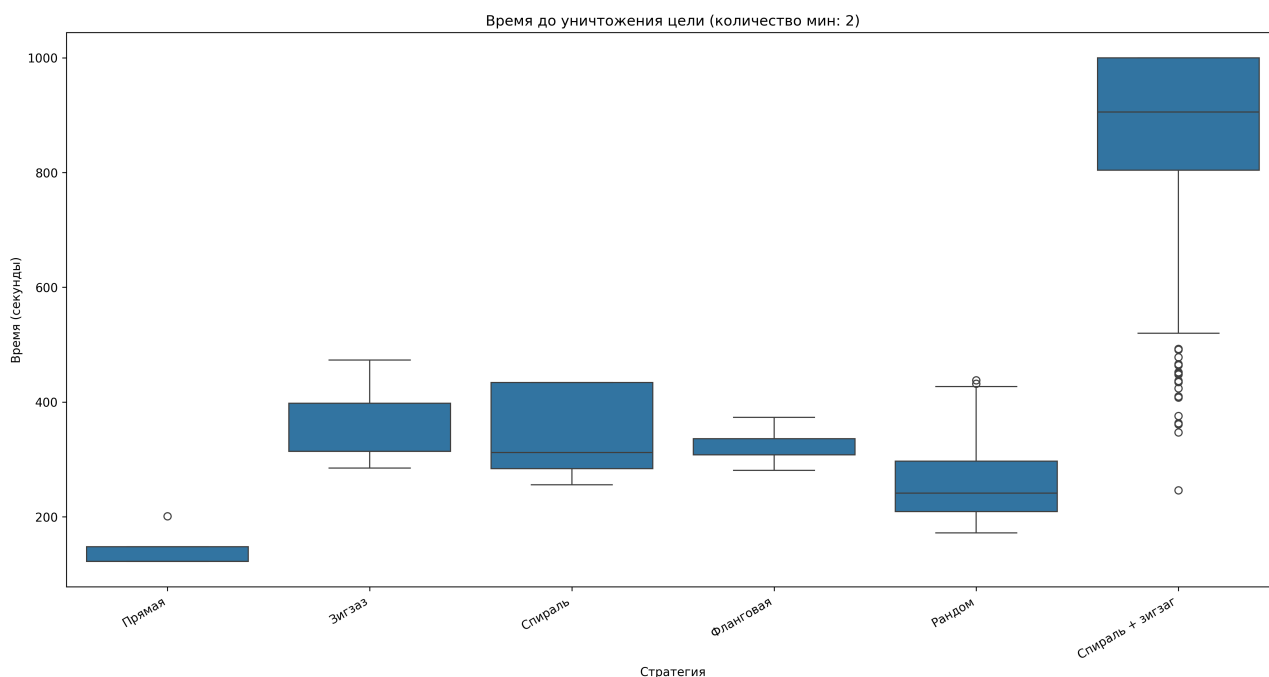


Рисунок 3 – Среднее время уничтожения цели при двух минах.

среднее 14,336 секунд. Зато среднее число выживших мин 1,03 (из двух), что является максимальным среди всех стратегий. Таким образом, «Спираль+Зигзаг» обеспечивает наилучший баланс между выживаемостью мин и успехом атаки.

Стратегия «Фланг» при двух минах достигает лишь 5,5% успешных атак. Среднее время уничтожения цели составляет 5,968 секунд. Среднее число выживших мин около 0,065 (практически все мины теряются). Эффективность этой стратегии значительно ниже, чем у лучших.

2.2 Анализ стратегий при трёх минах

При добавлении третьей мины эффективность стратегий заметно растёт. Рисунок 4 демонстрирует, что при трех минах наибольшую успешность показывает стратегия «Сбор в треугольнике» (100%), за ней следуют «Спиральный зигзаг» (94,0%) и «Зигзаг» (90,5%). Стратегии «Спираль» (78,5%), «Фланг» (69,5%) и «Жадный алгоритм» (50,5%) демонстрируют умеренный успех, а «Рандом» показывает наименьшую эффективность (31,0%).

Рисунок 5 иллюстрирует среднее число выживших мин при трех минах. Стратегия «Спиральный зигзаг» обеспечивает наибольшее значение (2,285 из 3 мин), что существенно превосходит остальные. «Зигзаг» и «Спираль» дают около 1,265 и 1,200 выживших мины соответственно. Для «Треугольника»

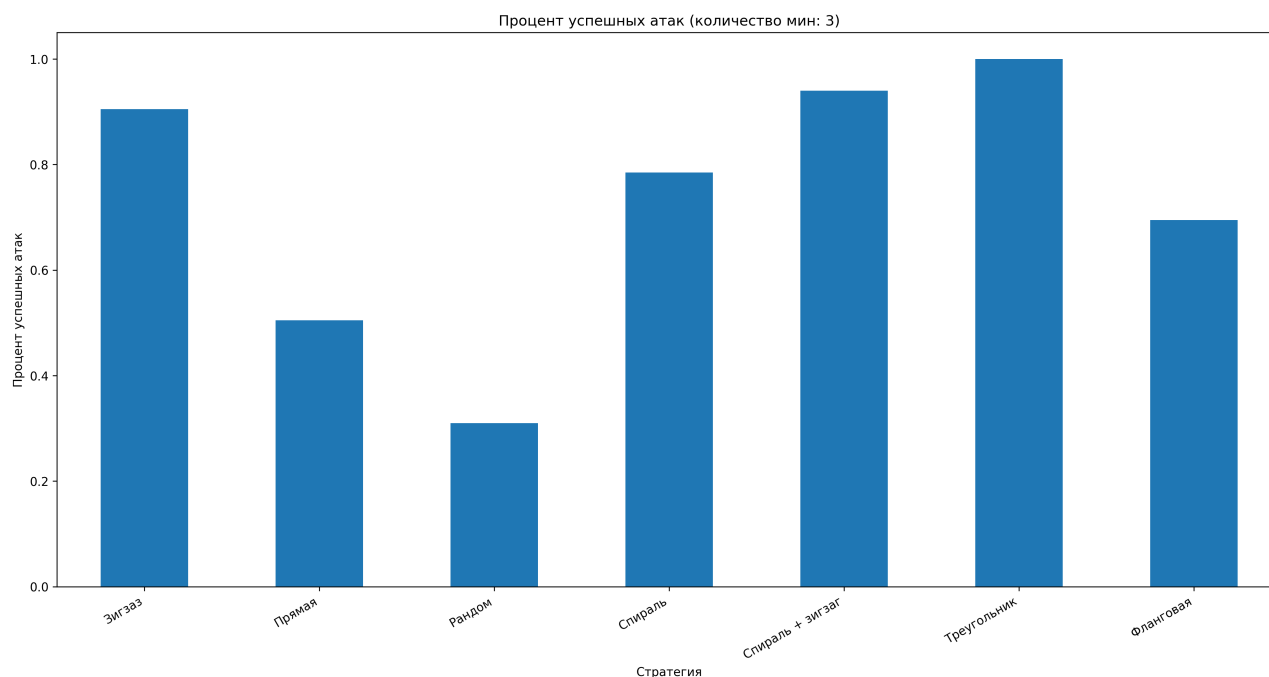


Рисунок 4 – Успешность атак при трех минах для различных стратегий.

этот показатель 1,075, а у «Фланга» 0,945. У «Жадного» алгоритма среднее выживших 0,545, а у «Рандом» 0,405.

На рисунке 6 показано среднее время уничтожения цели при трех минах. Стратегия «Жадный алгоритм» достигает цели быстрее остальных (222 кадра) за счёт прямолинейной атаки, но её успех ограничен (50,5%). «Сбор в треугольнике» занимает около 279 кадров при 100% успешности. «Фланг» (373 кадра) и «Рандом» (421 кадр) демонстрируют средние по длительности атаки. «Спираль» (434 кадра) и «Зигзаг» (473 кадра) требуют больше времени, а «Спиральный зигзаг» – наибольшее (708 кадров) при очень высокой успешности (94%).

При трех минах **стратегия «Прямая»** показала успешность 50,5%. Среднее время уничтожения цели составляет 222 кадра. Среднее число выживших мин 0,545 (то есть в среднем около 0,5 мины из 3 остаются).

Стратегия «Зигзаг» при трех минах показала высокую успешность 90,5%. Среднее время уничтожения цели 7,568 секунд. Среднее число выживших мин 1,265 (около 1,3 мины из 3 в среднем остаются живы).

Стратегия «Рандом» при трех минах продемонстрировала успешность 31,0%. Среднее время уничтожения цели 5,968 секунд, а среднее число выживших мин 0,405.

При трех минах **стратегия «Спираль»** имеет успех 78,5%. Среднее

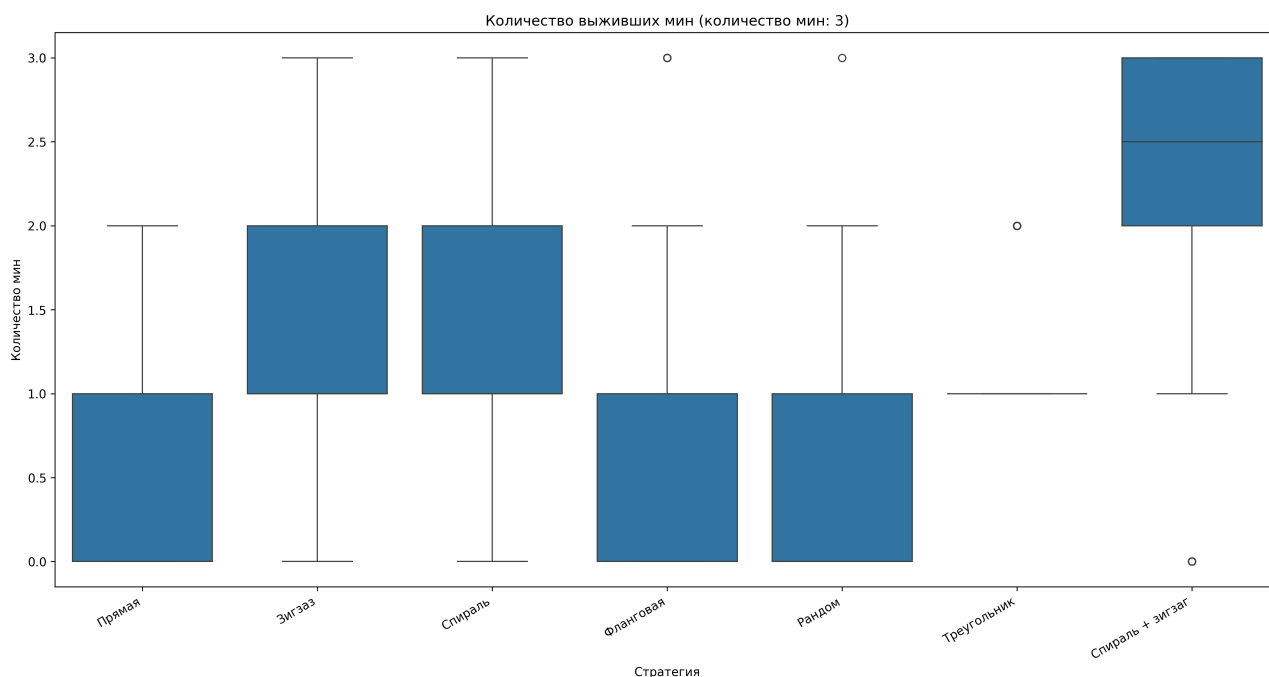


Рисунок 5 – Среднее число выживших мин при трех минах.

время уничтожения цели 6,736 секунд. Среднее число выживших мин 1,200.

«Спираль+Зигзаг» при трех минах показал успех 94,0%. Среднее время уничтожения цели 11,328 секунд(самое длительное). Среднее число выживших мин 2,285 (наибольшее из всех стратегий).

Стратегия «Фланг» при трех минах достигает 69,5% успешных атак. Среднее время уничтожения цели 373 кадра. Среднее число выживших мин 0,945.

Стратегия «Треугольник» («Сбор в треугольнике») показала 100% успеха при трех минах. Среднее время уничтожения цели 4,464 секунд. Среднее число выживших мин 1,075.

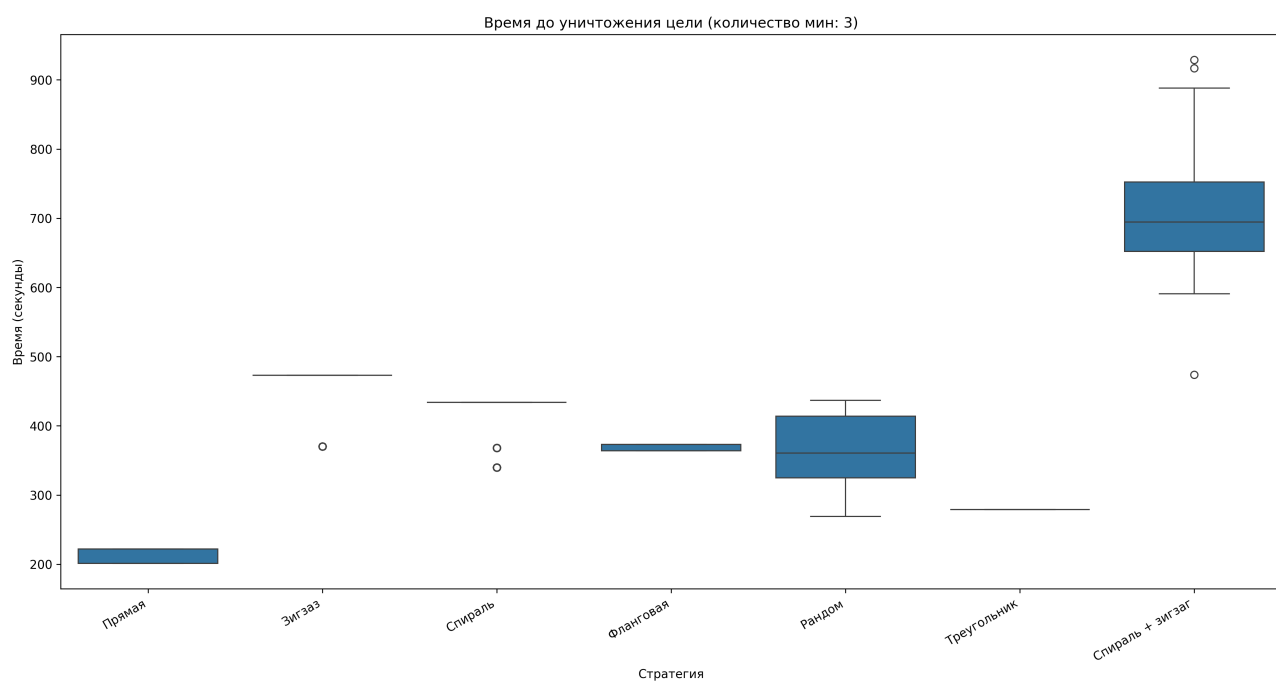


Рисунок 6 – Среднее время уничтожения цели при трех минах.

3 Направления для дальнейших исследований

Для дальнейшего развития проекта симуляции атакующих мин, применяющих различные стратегии, можно предложить следующие ключевые направления:

3.1 Ролевое моделирование поведения мин

Разделение мин на различные роли позволит организовать более гибкое и специализированное взаимодействие. Так, разведчики могут быстро исследовать местность и передавать координаты цели, атакующие — непосредственно нацелены на уничтожение врага, а отвлекающие (обманные) создают ложные сигналы или манёвры для отвлечения внимания. Возможно также выделение ролей *сборщиков* или *координаторов*, которые управляют движением и временем атаки группы.

Ролевой подход упрощает организацию сложных задач: как показано у Lhaksmana и соавторов, поведение агентов удобно представлять в виде ролей с возможностью адаптивного переключения.

В сценарии «Поиск и уничтожение» мины могут формировать группы вокруг цели: *«Цель рекрутеров – искать других агентов, пока вокруг обнаружившего цель рекрутера не соберётся достаточно большая группа для уничтожения объекта»*. Такие стратегии напоминают поведение в муравейниках и стаях, где простые правила на уровне индивида приводят к мощному коллективному эффекту.

Типы ролей мин:

- **Разведчики (scouts):** быстро перемещаются по полю боя, оценивают позицию врага, передают информацию другим минам.
- **Атакующие (attackers):** действуют по обнаруженным координатам, строят траектории приближения к цели.
- **Отвлекающие (decoys):** создают ложные сигналы, сбивают защиту с толку, привлекая внимание.
- **Сборщики / координаторы:** направляют групповой манёвр, координируют действия, обеспечивают окружение цели.

Такой подход способствует разработке алгоритмов координации. Например, разведчики могут инициировать переход атакующих в состояние «сборки» для синхронного удара. Ролевое моделирование упрощает глобаль-

ное управление роем, стимулируя самосогласованные стратегии.

3.2 Применение методов искусственного интеллекта

Введение ИИ позволит формировать более сложные и адаптивные стратегии поведения как мин, так и оппонентов. Подходы, такие как глубокое обучение с подкреплением (Deep RL) и генетические алгоритмы, применимы для оптимизации траекторий и тактик.

- **Расширение пула стратегий:** обучение сети новым паттернам поведения через соревнования или эволюционные методы.
- **Сбор данных:** создание датасетов успешных действий для имитационного обучения агентов.
- **Обучение противодействию:** симметричное обучение (self-play) между минами и врагом.

Как показано в ряде работ, DRL эффективно используется для координации беспилотников при мониторинге, обеспечивая адаптацию к нестандартным ситуациям и снижая детерминированность поведения.

3.3 Моделирование в трёхмерном пространстве

Текущая модель является двумерной, что подходит для морских или наземных сценариев. Переход к трёхмерной симуляции позволит изучать воздушные бои и поведение глубинных мин.

Преимущества 3D-моделирования:

- Возможность атаки с высоты или облёта укрытий.
- Использование рельефа местности.
- Реализация в платформах Gazebo, AirSim или Unity3D.

Например, в работе Su et al. реализован высокоточный симулятор квадрокоптера в Unity 3D с учётом датчиков и физики, что даёт возможность реализовать комплексные атаки с вариацией высоты.

3.4 Дополнительные предложения

- **Кооперативное поведение:** формирование коллективных манёвров, таких как «кольцо» или синхронный удар. Необходима реализация алгоритмов коллективной локализации и адаптации действий.
- **Эмуляция РЭБ:** добавление помех на сенсоры и каналы связи (например, имитация глушения GPS) для проверки устойчивости стратегий.

- **Адаптивное обучение:** изменение алгоритмов поведения в процессе симуляции через онлайн-обучение (reinforcement learning on-the-fly).
- **Сложные сценарии:** моделирование нескольких целей (стационарных и движущихся), задача распределения мин между целями (target allocation), прогнозирование движения целей.

Такие сценарии требуют анализа баланса между индивидуальной и групповой эффективностью, что расширяет возможности исследования кооперативного поведения мин в динамически изменяющихся условиях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате сравнительного анализа шести алгоритмов движения выяснилось, что «жадная» траектория обеспечивает минимальное время сближения, но крайне уязвима к одиночным выстрелам защитника. Случайная стратегия в целом показала наихудшие показатели по доле успешных атак и времени, тогда как комбинированный зигзаг + спираль даёт наилучший баланс между скоростью и выживаемостью: она сохраняет относительно высокую скорость приближения и при этом значительно снижает предсказуемость траектории. Зигзагообразный и чисто спиральный манёвры увеличивают время в пути, но заметно повышают шансы мин на прорыв за счёт усложнения прицеливания защитника. Таким образом, выбор оптимальной стратегии определяется компромиссом между быстродействием и живучестью: комбинированный алгоритм можно рекомендовать как наиболее универсальный при стандартных настройках защитника, а для задач, где критична скорость, уместно использовать «жадную» тактику. Полученные результаты могут лечь в основу дальнейшей разработки адаптивных систем управления группой автономных боевых элементов.

ds

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Доброхлеб, В. Г., Смолина, Н. С. Информационное общество и массовое сознание. Социологические исследования, 2019 гю — 55-59 с.
- 2 4brain [Электронный ресурс] URL:
<https://4brain.ru/blog/как-защищаться-от-манипуляции>
(дата обращения: 22.04.2025)
- 3 Канеман, Д. Думай медленно... решай быстро. Москва: Эксмо, 2015 гю — 512 с.
- 4 Шевченко, О. И. Психологическое воздействие и способы противодействия. Молодой ученый, 2019 гю — 444-448 с.
- 5 Роспотребнадзор [Электронный ресурс] URL:
<https://egon.rospotrebnadzor.ru/naseleniyu/zdorovyy-obraz-zhizni/informatsionnaya-gigiena>
(дата обращения: 27.04.2025)
- 6 Bradshaw, S., Howard, P. N. The global organization of social media disinformation campaigns. Journal of International Affairs, 2018 гю — 23-32 с.
- 7 FasterCapital [Электронный ресурс] URL:
<https://fastercapital.com/ru/content/Социальное-заражение-исследование-феномена-мобраспространения.html>
(дата обращения: 03.05.2025)
- 8 Психологи Москвы [Электронный ресурс] URL:
<https://psihologi-moskvy.pro/articles/stati-sovety-otvety-na-voprosy/kak-zashchititsya-ot-manipulyatsii-smi>
(дата обращения: 07.05.2025)
- 9 Information disorder [Электронный ресурс] URL:
<https://rm.coe.int/information-disorder-toward-an-interdisciplinary-framework-for-researc/168076277c>
(дата обращения: 11.05.2025)

Курсовая работа "Стратегии атаки самодвижущихся мин" выполнена мною самостоятельно, и на все источники, имеющиеся в работе, даны соответствующие ссылки.

подпись, дата

инициалы, фамилия