|  |  |
| --- | --- |
| Изображение выглядит как эмблема, герб, нашивка, символ  Автоматически созданное описание | **Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  **высшего образования**  **«Московский государственный технический университет**  **имени Н.Э. Баумана**  **(национальный исследовательский университет)»**  **(МГТУ им. Н.Э. Баумана)** |

ФАКУЛЬТЕТ **Специального машиностроения**

КАФЕДРА **СМ11 «Подводные роботы и аппараты»**

**ОТЧЕТ ПО ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРАКТИКЕ**

Студент Бочкарев Михаил Александрович

*фамилия, имя, отчество*

Группа СМ11-71Б

Тип практики **Научно-исследовательская работа**

Название предприятия **НУК СМ МГТУ им. Н.Э. Баумана**

Студент **\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_** Бочкарев М.А.

Руководитель практики **\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_** Ромашко А. С.

Оценка \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

*2024 г.*

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное

учреждение высшего образования

«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

(национальный исследовательский университет)»

(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

Кафедра **«Подводные роботы и аппараты»** **(СМ11)**

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение научно-исследовательской работы**

**(производственной практики)**

на предприятии **НУК СМ МГТУ им. Н.Э. Баумана**

Студент Бочкарев Михаил Александрович, СМ11-71Б

(фамилия, имя, отчество; индекс группы)

**Тема научно-исследовательской работы:**

Исследование методов организации траекторного движения подводного аппарата при ведении гидроакустической съемки в акватории.

**Дата выдачи задания «** 09 **»** сентября2024г.

**Руководитель НИР**   **/** Ромашко А.С.

(подпись, дата) (Фамилия И.О.)

**Студент**   **/** Бочкарев М.А.

(подпись, дата) (Фамилия И.О.)

СОДЕРЖАНИЕ

[ВВЕДЕНИЕ 4](#_Toc191913265)

[1 Виды траекторий для гидроакустической съемки 6](#_Toc191913266)

[1.1 Галсы 6](#_Toc191913267)

[1.2 Спираль 7](#_Toc191913268)

[1.3 Циклоида 8](#_Toc191913269)

[2 Способы задания траектории 10](#_Toc191913270)

[2.1 Последовательность точек 10](#_Toc191913271)

[2.2 Параметрический 11](#_Toc191913272)

[3 Методы движения по траектории 12](#_Toc191913273)

[4 Траекторное движение при гидроакустической съемке 13](#_Toc191913274)

[ЗАКЛЮЧЕНИЕ 15](#_Toc191913275)

[СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 16](#_Toc191913276)

[Приложение А](#_Toc191913277) [Код программы 17](#_Toc191913278)

# ВВЕДЕНИЕ

Современные задачи гидроакустической съёмки требуют всё более точного и детального исследования подводного пространства. В условиях, когда необходимо получать высококачественные акустические данные, особенно остро встаёт вопрос оптимальной организации траектории движения подводного аппарата (ПА). От параметров движения — курса, скорости и манёвренности — напрямую зависит качество и достоверность регистрируемых сигналов.

Одним из ключевых факторов является чувствительность акустических систем к изменению курса и скорости ПА. Небольшие колебания курса или колебания скорости могут приводить к неточным измерениям или потерям данных, поскольку углы излучения и приёма звуковых сигналов рассчитываются исходя из предполагаемых параметров движения. Кроме того, траектория ПА должна исключать чрезмерные рыскания, крены или скачки скорости, поскольку это сказывается на распределении акустических лучей и на интерпретации полученной информации.

Введение жёстких ограничений на ходовые параметры ПА (например, удержание курса в заданном коридоре, поддержание постоянной или контролируемо изменяющейся скорости) необходимо для сохранения требуемого качества гидроакустической картины. При этом возникает проблема компромисса между манёвренностью (обход препятствий, учёт течений, особенности рельефа) и стабильностью курса. Столь противоречивые требования определяют сложность разработки оптимальных методов прокладки маршрута и управления движением ПА.

Целью данной работы является исследование существующих подходов к организации траекторного движения подводного аппарата при ведении гидроакустической съемки в акватории.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

* выбор вида траектории, оптимальной для ведения гидроакустической съемки акватории;
* выбор способа задания траектории для ведения гидроакустической съемки в акватории;
* анализ методов движения подводного аппарата по траектории при ведении гидроакустической съемки;
* разработка программы для планирования траектории движения подводного аппарата в заданной акватории.

# 1 Виды траекторий для гидроакустической съемки

Особенностью работы средств гидроакустической съемки является их чувствительность к отклонению траектории движения от прямой линии. Малая частота работы гидроакустических средств съемки при быстрых поворотах по курсу подводного аппарата приводит к искажениям в итоговой картинке, которые сложно компенсировать даже при наличии информации об угле курса. Поэтому основным требованием к траектории движения подводного аппарата при ведении гидроакустической съемки является наличие длинных прямолинейных участков. Такими свойствами обладают траектории вида галсы, спирали, циклоиды. Особенности каждой из них будут рассмотрены ниже.

* 1. Галсы

Метод предусматривает движение аппарата по зигзагообразной траектории, которая обеспечивает полное покрытие исследуемой области. Траектория формируется в виде параллельных линий с небольшими перекрытиями, чтобы исключить пропуски [7].

Принципы работы: аппарат движется по прямой линии до определенной точки, затем разворачивается и движется в противоположном направлении по параллельной линии. Направление движения чередуется, а повороты осуществляются с учетом заданного радиуса. Алгоритмы контролируют расстояние между линиями, скорость и угол разворота, чтобы покрыть территорию равномерно.

Оборудование: система стабилизации курса и скорости для движения по прямой линии, навигационные системы для удержания точного расстояния между параллельными линиями, программное обеспечение для расчета маршрута с учетом размеров исследуемой области.

Преимущества:

* полное покрытие исследуемой области: устраняет пропуски, обеспечивая равномерное движение по всей площади;
* простота планирования: легко рассчитывается заранее, особенно при заданной области обследования;
* универсальность: подходит для задач картографирования, поиска объектов или съемки местности;
* упрощенная обработка данных: логичная структура движения облегчает последующую обработку собранных данных;
* повторяемость маршрута: маршрут может быть легко воспроизведен для повторных обследований.

Недостатком является неэффективность для небольших зон: для небольших участков траектория может быть избыточной.

* 1. Спираль

Метод заключается в движении аппарата вдоль прямых линий, образующих сходящуюся или расходящуюся прямоугольную спираль. Расстояние между витками спирали может быть постоянным или изменяться [2].

Принципы работы: аппарат движется вдоль прямой линии заданной длины. После завершения движения он совершает поворот на 90 градусов и продолжает движение вдоль следующей прямой. Длина каждой следующей прямой увеличивается или уменьшается в зависимости от того, является ли траектория сходящейся или расходящейся спиралью.

Оборудование: датчики положения и направления для точной фиксации относительного положения центра траектории, системы стабилизации скорости и управления курсом, программное обеспечение для ввода шага и направления спирали.

Преимущества:

* эффективность в локальных исследованиях: подходит для детального изучения отдельных участков;
* равномерное покрытие вокруг центра: спирали обеспечивают плотное обследование зоны вокруг точки интереса;
* простота повторения траектории: легко воспроизвести маршрут для проверки данных или их дополнения.

Недостатки:

* ограниченность области исследования: непригоден для больших участков;
* сложности при сильных течениях: движение по спиральной траектории затрудняется из-за боковых воздействий;
* неравномерное распределение плотности данных: на больших радиусах данные становятся менее плотными.
  1. Циклоида

Метод заключается в движении аппарата вдоль прямых линий, образующих смещенную в выбранном направлении спираль [2]. Расстояние между витками спирали и степень их наложения друг на друга могут быть постоянными или изменяться.

Принципы работы: аппарат движется вдоль прямой линии заданной длины. После завершения движения он совершает разворот на 180 градусов и продолжает движение вдоль следующей прямой, параллельной предыдущей. Взаимное расположение прямых определяется желаемой степенью перекрытия зон съемки.

Оборудование: система стабилизации курса и скорости для движения по прямой линии, навигационные системы для удержания точного расстояния между параллельными линиями, программное обеспечение для расчета маршрута с учетом размеров исследуемой области.

Преимущества:

* полное покрытие исследуемой области: устраняет пропуски, обеспечивая равномерное движение по всей площади;
* универсальность: подходит для задач картографирования, поиска объектов или съемки местности.

Недостатки:

* сложности при сильных течениях: движение по спиральной траектории затрудняется из-за боковых воздействий;
* неэффективность для небольших зон: для небольших участков траектория может быть избыточной.

# 2 Способы задания траектории

Можно выделить два способа задания траектории движения подводного аппарата: в виде последовательности точек в выбранной системе координат на акватории и в виде последовательности значений выбранных параметров движения. Для выбора оптимального способа задания траектории при ведении гидроакустической съемки необходимо рассмотреть особенности применения каждого из данных способах задания траектории для рассмотренных выше видов траектории.

## 2.1 Последовательность точек

Прямолинейные траектории вида галсы, спираль и циклоида могут быть заданы в виде последовательности точек соединения отрезков прямых, их образующих [1].

Преимуществами такого способа являются:

* простота формирования траектории: координаты отрезков прямых, соединяющихся под прямыми углами, легко задать в любой прямоугольной системе координат, оси которой сонаправлены с линиями траектории;
* простота использования в системе управления подводного аппарата: позволяет реализовать любой метод движения от точки к точке;
* устойчивость к погрешностям оборудования и факторам внешней среды: отклонение от траектории, вызванное влиянием течения и погрешностями навигационного оборудования приводят к предсказуемому искажению траектории, но не к ее полной непригодности для использования.

К недостаткам данного метода можно отнести:

* ориентированность только на прямолинейное движение: способ не позволяет задавать радиусы поворота подводного аппарата в явном виде:
* необходимость дополнительной обработки точек траектории системой управления подводного аппарата для формирования управляющих воздействий в контурах.

## 2.2 Параметрический

В качестве параметров в данном способе задания траектории могут использоваться как значения управляющих воздействий в контурах, такие как курс и маршевая скорость движения, так и параметры местоположения, например, кривая движения подводного аппарата в некоторой криволинейной системе координат в заданной акватории или желаемое отстояние подводного аппарата от дна [4].

Преимуществами параметрического способа являются:

* большая гибкость: позволяет задавать не только прямые линии, но и дуги окружностей с желаемыми радиусами поворота подводного аппарата;
* простота передачи формы траектории в систему управления.

Недостатками параметрического способа являются:

* сложность перевода наглядного представления траектории в параметрический вид;
* слабая устойчивость к негативным факторам среды и погрешностям навигационной системы: отклонение реальной траектории движения подводного аппарата от заданной под влиянием течений и погрешностей навигационной системы может быть значительным и непредсказуемым.

# 3 Методы движения по траектории

Метод движения подводного аппарата по траектории зависит от способа задания траектории.

При использовании способа задания траектории в виде последовательности точек методы движения подводного аппарата по такой траектории сводятся к последовательному достижению подводным аппаратом заданной окрестности каждой точки [8]. Можно выделить следующие методы движения к заданной точке:

* метод прямого наведения: заключается в управлении углом курса подводного аппарата на каждом такте работы системы управления таким образом, чтобы подводный аппарат все время приближался к заданной точке. Направление входа подводного аппарата в окрестность заданной точки и форма траектории его движения к точке не контролируется [2];
* метод наведения по линии визирования: заключается в управлении углом курса подводного аппарата на каждом такте работы системы управления таким образом, чтобы подводный аппарат все время двигался по прямой, соединяющей предыдущую и заданную точку траектории. Направление входа подводного аппарата в окрестность заданной точки и форма траектории его движения к точке строго контролируется [3];
* метод минимизации бокового отклонения: предполагает автоматическую коррекцию линейных перемещений с учётом незапланированных смещений аппарата от заданного положения. Цель — обеспечить точное следование заданной траектории, учитывая ошибки навигационных систем, инерционность аппарата и динамические запаздывания в работе движителей [9];
* метод наведения в «субточку»: продольная ось аппарата всегда направлена не в точку цели, а в точку на прямой, соединяющей две точки. Точка, лежащая на этой прямой, никогда не будет достигнута аппаратом, потому что она движется вместе с ним на определённом расстоянии, но строго по прямой в сторону цели. Убегающую от аппарата точку называют «субточкой».  Система не подвержена существенному влиянию взаимной ориентации путевых точек на качество управления, скорости движения аппарата, показывает стабильное попадание в доверительный интервал даже при наличии течения, направленного поперёк траектории движения аппарата [10].

При использовании параметрического способа задания траектории метод движения подводного аппарата по траектории заключается в трансляции желаемых параметров движения подводного аппарата в управляющие воздействия на контур подводного аппарата [8]. То есть выбор метода движения сильно зависит от выбранных параметров описания траектории.

# 4 Траекторное движение при гидроакустической съемке

Качество гидроакустической съемки зависит от точности движения подводного аппарата по прямолинейным участкам траектории. При этом съемку целесообразно проводить путем движения по траектории, содержащей наиболее длинные прямолинейные участки. С учетом необходимости компенсировать влияния течения на движения подводного аппарата целесообразно выбирать траекторию, содержащую параллельные прямолинейные участки. Следует учитывать также сложность формирования траектории и, соответственно, реализации движения подводного аппарата по заданной траектории. С учетом этого, целесообразно использовать траекторию вида галсы для организации гидроакустической съемки в акватории [2].

Траекторию вида галсы удобно задавать в виде последовательности точек: координат начала и конца параллельных отрезков движения подводного аппарата. При известных координатах подводного аппарата сформировать управляющие воздействия для контуров курса и марша подводного аппарата при подобном способе задания траектории не представляет сложности.

Выбранный метод планирования траектории движения подводного аппарата был реализован в виде программы на языке Python [5].

Программа позволяет построить желаемую траекторию движения подводного аппарата в заданной области с учетом направления течения [6]. Программа прокладывает галсы таким образом, чтобы обеспечить полное покрытие заданной области и движение подводного аппарата на прямолинейных участках параллельно направлению течения. Движение вдоль направления течения позволяет избежать необходимости компенсировать боковой снос подводного аппарата, вызванный течением, в его системе управления. Код программы представлен в Приложении А. На рисунке 1 представлен результат работы программы.

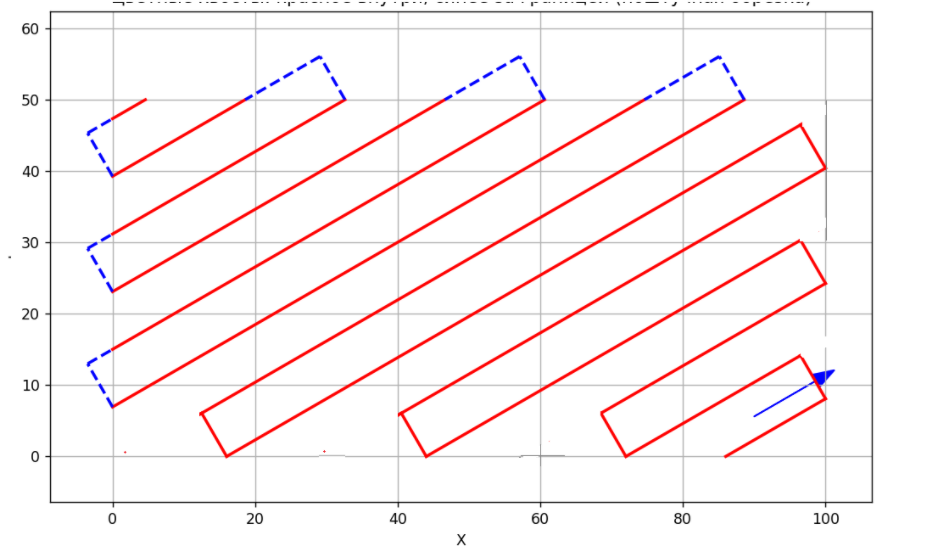


Рисунок 1 – Желаемая траектория движения подводного аппарата, рассчитанная программой

На рисунке стрелкой показано направление течения. Области траектории, изображенные сплошной линией, лежат в заданной акватории. Области траектории, изображенные пунктирной линией, выходят за пределы заданной акватории. Из рисунка видно, что программа минимизирует выход подводного аппарата за пределы заданной акватории и обеспечивает оптимальную траекторию движения с учетом течения.

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проделанной работы:

* произведен анализ видов траекторий движения подводного аппарата при ведении гидроакустической съемки и способов представления этих траекторий. Исходя из критериев точности, простоты реализации и особенностей работы гидроакустического оборудования для съемки было принято решение использовать для организации гидроакустической схемки в акватории траекторию вида галсы. Среди известных способов задания траектории был выбран способ задания траектории в виде последовательности точек соединения отрезков, образующих галсы;
* произведен анализ методов движения подводного аппарата по траектории и влияние на движение течения и погрешностей навигационной системы. Анализ показал необходимость учета направления течения при организации движения подводного аппарата при гидроакустической съемке, так как оно, в зависимости от выбранного метода движения, приводит либо к отклонению подводного аппарата от заданной траектории, либо к сложности удержания постоянного курса, необходимого для работы гидроакустических средств съемки;
* на основе результатов исследований была разработанна программа, позволяющая прокладывать желаемую траекторию движения подводного аппарата в заданной акватории с учетом направления течения.

# СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Optimal Circle Packing in Plane Geometry // Ресурсы по вычислительной геометрии. Доступ через специализированные базы данных.
2. Path Planning for Area Coverage with UAVs and UUVs // IEEE Transactions on Robotics. – IEEE, 2020.
3. Environmental Disturbance Compensation in Underwater Vehicles // Ocean Engineering Journal. – Elsevier, 2019.
4. Основы аналитической геометрии и вычислительной математики. – Учебное пособие. М.: Наука, 2021.
5. Matplotlib. Visualization with Python. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://matplotlib.org/stable/ (дата обращения: 21.06.2024).
6. Python. Официальная документация. Работа с файлами [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://docs.python.org/3/tutorial/inputoutput.html (дата обращения: 21.06.2024).
7. Optimal Coverage Planning for Aerial and Underwater Robots // Учебники по робототехнике. – Springer, 2021.
8. Underwater Robotics: Science, Design and Implementation. – Cambridge, MA: MIT Press, 2005.
9. Система автоматической стабилизации подводного аппарата режиме зависания при работающем многозвенном манипуляторе. – Учебное пособие. Коноплин Александр Юрьевич, 2015.
10. Алгоритм управления АНПА в горизонтальной плоскости [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/zxpfeh> (дата обращения - 14.09.2025).

# Приложение А

# Код программы

|  |
| --- |
| import numpy as np  import matplotlib.pyplot as plt  from shapely.geometry import Polygon, LineString  def rotate\_point(x, y, angle\_rad):  """  Повернуть точку (x, y) вокруг (0,0) на угол angle\_rad (против часовой стрелки).  """  x\_new = x\*np.cos(angle\_rad) - y\*np.sin(angle\_rad)  y\_new = x\*np.sin(angle\_rad) + y\*np.cos(angle\_rad)  return x\_new, y\_new  def rotate\_path(points, angle\_rad):  """  Повернуть список точек [(x1,y1), (x2,y2), ...] на угол angle\_rad вокруг (0,0).  """  out = []  for (x, y) in points:  rx, ry = rotate\_point(x, y, angle\_rad)  out.append((rx, ry))  return out  def calculate\_lawnmower\_with\_variable\_lines(width, height, sensor\_width, angle\_deg):  """  Строит «змейку» (по парам точек) с укороченными линиями в «углах»,  БЕЗ финальной обрезки. Может выходить за границу.  Возвращает список точек [p0, p1, p2, p3, ...], где (p0->p1), (p2->p3) и т.д.  """  from shapely.geometry import Polygon, LineString  angle\_rad = np.radians(angle\_deg)  # Исходный прямоугольник  original\_poly = Polygon([  (0,0), (width,0),  (width,height), (0,height)  ])  # Повернём сам полигон на -angle\_rad  def rotate\_polygon(poly, a):  coords = poly.exterior.coords  new\_c = [rotate\_point(x, y, a) for (x, y) in coords]  return Polygon(new\_c)  poly\_rot = rotate\_polygon(original\_poly, -angle\_rad)  minx, miny, maxx, maxy = poly\_rot.bounds  snake\_rot = []  prev\_pt = None  direction = 1  y\_cur = miny  while y\_cur <= maxy + 1e-9:  # Горизонтальная "линия" в повернутых координатах  line\_candidate = LineString([(minx-10, y\_cur), (maxx+10, y\_cur)])  intersection = poly\_rot.intersection(line\_candidate)  if intersection.is\_empty:  y\_cur += sensor\_width  continue  # Может быть LineString, MultiLineString...  segments = []  if intersection.geom\_type == "LineString":  segments = [intersection]  elif intersection.geom\_type == "MultiLineString":  segments = list(intersection)  else:  if hasattr(intersection, 'geoms'):  for g in intersection.geoms:  if g.geom\_type == 'LineString':  segments.append(g)  seg\_list = []  for seg in segments:  cc = list(seg.coords)  xs = [p[0] for p in cc]  seg\_list.append( (min(xs), max(xs), y\_cur) )  if not seg\_list:  y\_cur += sensor\_width  continue  seg\_list.sort(key=lambda t: t[0]) # сортируем по xmin  if direction == 1:  # слева -> направо  for (xmin, xmax, yfix) in seg\_list:  start\_pt = (xmin, yfix)  end\_pt = (xmax, yfix)  if prev\_pt is not None:  snake\_rot.append(prev\_pt)  snake\_rot.append(start\_pt)  snake\_rot.append(start\_pt)  snake\_rot.append(end\_pt)  prev\_pt = end\_pt  else:  # справа -> налево  seg\_list\_desc = sorted(seg\_list, key=lambda t: t[0], reverse=True)  for (xmin, xmax, yfix) in seg\_list\_desc:  start\_pt = (xmax, yfix)  end\_pt = (xmin, yfix)    if prev\_pt is not None:  snake\_rot.append(prev\_pt)  snake\_rot.append(start\_pt)  snake\_rot.append(start\_pt)  snake\_rot.append(end\_pt)  prev\_pt = end\_pt  # Переход вверх  y\_next = y\_cur + sensor\_width  if y\_next <= maxy + 1e-9 and prev\_pt is not None:  up\_start = prev\_pt  up\_end = (prev\_pt[0], y\_next)  snake\_rot.append(up\_start)  snake\_rot.append(up\_end)  prev\_pt = up\_end  y\_cur = y\_next  direction \*= -1  # Повернём "змею" обратно на +angle\_rad  final\_path = rotate\_path(snake\_rot, +angle\_rad)  return final\_path  def visualize\_line\_in\_out(path\_points, width, height, angle\_deg=30, flow=10):  """  Для КАЖДОЙ пары (p\_i -> p\_{i+1}) делаем:  1) intersection(прямоугольник) - красным  2) difference(прямоугольник) - синим  Чтобы каждая частично торчащая линия получила «хвост» другого цвета.  """  from shapely.geometry import Polygon, LineString  area = Polygon([(0,0),(width,0),(width,height),(0,height)])    plt.figure(figsize=(10,6))  xs\_all, ys\_all = [], []  # Идём по парам  for i in range(0, len(path\_points)-1, 2):  p1 = path\_points[i]  p2 = path\_points[i+1]  line = LineString([p1, p2])  # Внутренняя часть  inside\_part = line.intersection(area)  # Наружная часть  outside\_part = line.difference(area)  # Рисуем "inside\_part" красным  if not inside\_part.is\_empty:  \_draw\_geom(inside\_part, color='red', lw=2)  xs\_all.extend([c[0] for c in inside\_part.coords])  ys\_all.extend([c[1] for c in inside\_part.coords])  # Рисуем "outside\_part" синим  if not outside\_part.is\_empty:  \_draw\_geom(outside\_part, color='blue', lw=2, linestyle='--', zorder=10)  xs\_all.extend([c[0] for c in outside\_part.coords])  ys\_all.extend([c[1] for c in outside\_part.coords])  if xs\_all and ys\_all:  minx, maxx = min(xs\_all), max(xs\_all)  miny, maxy = min(ys\_all), max(ys\_all)  else:  minx, maxx = 0, width  miny, maxy = 0, height  # Стрелка течения  arrow\_start\_x = 0.9\*maxx  arrow\_start\_y = 0.1\*maxy  dx = flow\*np.cos(np.radians(angle\_deg))  dy = flow\*np.sin(np.radians(angle\_deg))  plt.arrow(arrow\_start\_x, arrow\_start\_y, dx, dy,  head\_width=2, head\_length=3, fc='blue', ec='blue')  plt.title("Цветные хвосты: красное внутри, синее за границей (поштучная обрезка)")  plt.xlabel("X"); plt.ylabel("Y")  plt.axis('equal')  plt.grid(True)  plt.show()  def \_draw\_geom(geom, \*\*kwargs):  """  Вспомогательная функция для отрисовки LineString / MultiLineString  как набора отрезков.  """  from shapely.geometry import MultiLineString, LineString  import matplotlib.pyplot as plt  if geom.is\_empty:  return  if geom.geom\_type == 'LineString':  c = list(geom.coords)  xs = [p[0] for p in c]  ys = [p[1] for p in c]  plt.plot(xs, ys, \*\*kwargs)  elif geom.geom\_type == 'MultiLineString':  for g in geom.geoms:  c = list(g.coords)  xs = [p[0] for p in c]  ys = [p[1] for p in c]  plt.plot(xs, ys, \*\*kwargs)  else:  # GeometryCollection, ...  if hasattr(geom, 'geoms'):  for g in geom.geoms:  if g.geom\_type in ['LineString','MultiLineString']:  \_draw\_geom(g, \*\*kwargs)  # ------------------ Пример использования ------------------  if \_\_name\_\_ == "\_\_main\_\_":  area\_width = 100  area\_height = 50  sensor\_w = 7  angle\_deg = 30  flow\_m = 10  # 1) Строим «змейку» (возможен выход за границу)  path\_points = calculate\_lawnmower\_with\_variable\_lines(  area\_width, area\_height,  sensor\_w, angle\_deg  )  # 2) Рисуем КАЖДЫЙ отрезок отдельно:  # - intersection с областью => красный  # - difference => синий (хвостик)  visualize\_line\_in\_out(path\_points, area\_width, area\_height, angle\_deg, flow=flow\_m) |