

02, июнь 2018

УДК 629.051

Моделирование движения АНПА по прямолинейным траекториям

*Аладышева Е.И., студент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Подводные роботы и аппараты»
aladysheva_elena@mail.ru*

*Научный руководитель: Егоров С.А., доцент, к.т.н.
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Подводные роботы и аппараты»
sa_egorov@mail.ru*

Аннотация: В статье рассмотрено построение модели движения автономного необитаемого подводного аппарата (АНПА) в плоскости горизонта по траектории типа «меандр». Описывается реализация наведения АНПА двумя способами: методом погони и по линии визирования. По результатам моделирования была показана работоспособность реализованных алгоритмов, а также проведено сравнение двух способов наведения.

Ключевые слова: автономный необитаемый подводный аппарат (autonomous underwater vehicle), наведение (steering), меандр (meander).

Введение

Одним из основных классов задач, решаемых с использованием автономного необитаемого подводного аппарата (АНПА), являются обзорно-поисковые задачи [4]. Они заключаются в покрытии некоторой площади под водой с целью поиска и обследования заданных объектов или для построения карты с нанесёнными результатами измерений. Традиционный метод решения обзорно-поисковых задач с использованием АНПА заключается в покрытии указанной области сетью параллельных галсов [4].

* * *

Рассмотрим движение АНПА по траектории типа «меандр», как показано на рисунке 1.

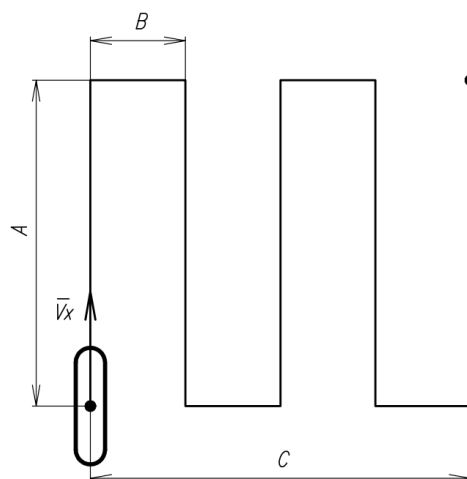


Рис. 1. Траектория движения АНПА типа «меандр»

Исходными данными для формирования траектории являются длина рабочего галса (А), длина промежуточного галса (В), ширина фигуры (С) и радиус окрестности цели. По ним происходит расчёт координат необходимого числа точек-целей.

По заданным длине и ширине обследуемой акватории, а также длине промежуточного галса формируется массив путевых точек, каждая из которых характеризуется двумя координатами (ξ_i , ζ_i) в горизонтальной плоскости, первая из которых подаётся в СУ АНПА. Переключение на следующую цель происходит при входе АНПА в заданную окрестность точки. Целью управления в горизонтальной плоскости является прохождение АНПА через все путевые точки.

Для прохождения АНПА через путевую точку необходимо реализовать какой-либо метод наведения. Одними из основных методов являются:

- наведение методом погони;
- наведение по линии визирования (пропорциональное наведение).

Расчётная схема движения АНПА представлена на рисунке 2.

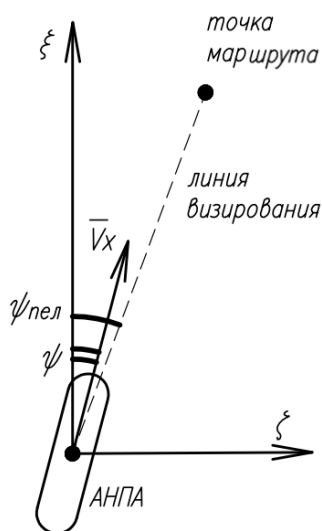


Рис. 2. Расчётная схема наведения АНПА на текущую путевую точку

Методом погони называется такой метод наведения, при котором в каждый момент времени вектор скорости АНПА направлен на цель. При наведении по методу погони управляющий сигнал пропорционален величине угла упреждения [1]. Таким образом, должно выполняться равенство:

$$\psi_{\text{pel}} - \psi = 0.$$

Алгоритм формирования управляющих сигналов АНПА при наведении методом погони представлен на рисунке 3.

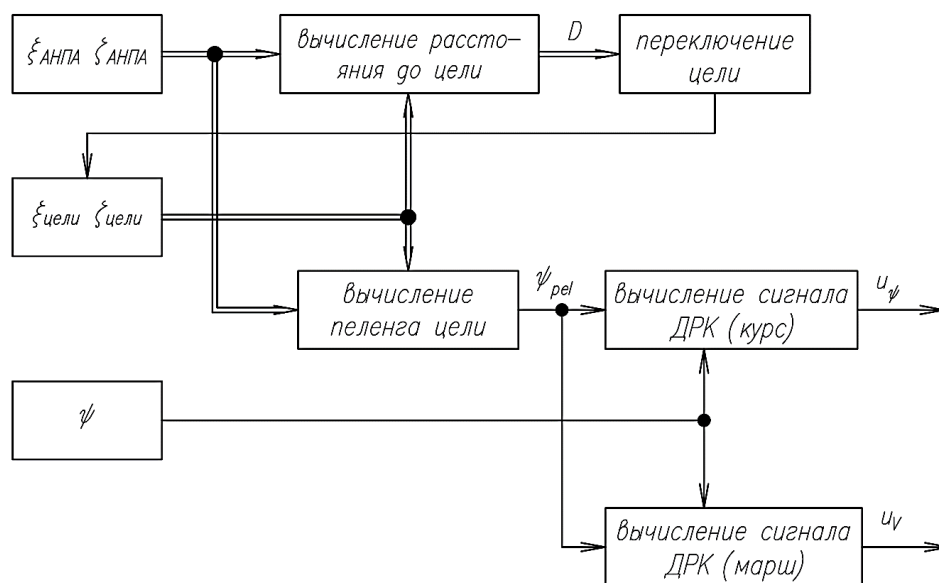


Рис. 3. Структурная схема формирования управляющих сигналов АНПА при наведении методом погони

При наведении по линии визирования необходимо, чтобы в течение всего времени движения угловая скорость поворота вектора скорости АНПА пропорциональной угловой скорости линии визирования [1]:

$$\frac{d\psi}{dt} = K_{\text{ЛВ}} \cdot \frac{d\psi_{\text{pel}}}{dt}.$$

При единичном значении коэффициента пропорциональности и равных начальных углах метод наведения сводится к методу погони [1].

Алгоритм формирования управляющих сигналов АНПА при наведении по линии визирования представлен на рисунке 4.

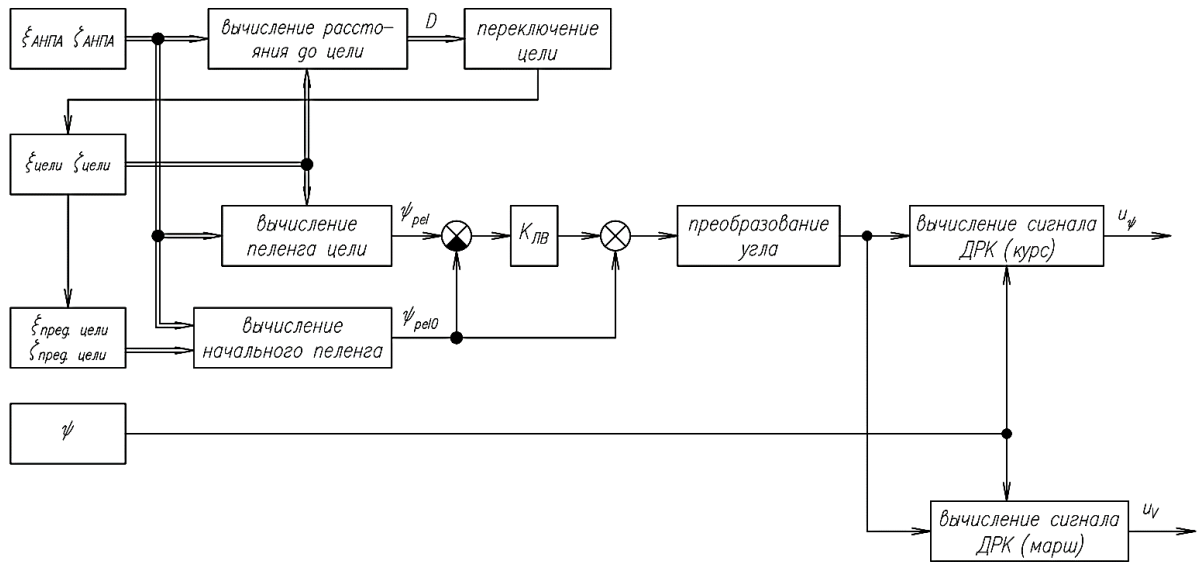


Рис. 4. Структурная схема формирования управляющих сигналов АНПА при наведении по линии визирования

Для построения динамической модели АНПА как тела, движущегося в вязкой среде, используются законы гидромеханики, выраженные в виде уравнений для действующих сил и моментов [1]. С учётом общих предположений согласно [2] уравнения движения выглядят следующим образом:

$$\begin{aligned}
 (M + \lambda_{11})\dot{V}_x + (M + \lambda_{23})\omega_y V_z - (M + \lambda_{22})\omega_z V_y &= F_x, \\
 (M + \lambda_{22})\dot{V}_y + (M + \lambda_{11})\omega_z V_x - (M + \lambda_{33})\omega_x V_z &= F_y, \\
 (M + \lambda_{33})\dot{V}_z + (M + \lambda_{22})\omega_x V_y - (M + \lambda_{11})\omega_y V_x &= F_z, \\
 (I_{xx} + \lambda_{44})\dot{\omega}_x + ((I_{zz} + \lambda_{66}) - (I_{yy} + \lambda_{55}))\omega_z \omega_y + (\lambda_{33} - \lambda_{22})V_y V_z &= M_x, \\
 (I_{yy} + \lambda_{55})\dot{\omega}_y + (\lambda_{11} - \lambda_{33})V_y V_z &= M_y, \\
 (I_{zz} + \lambda_{66})\dot{\omega}_z + ((I_{yy} + \lambda_{55}) - (I_{xx} + \lambda_{44}))\omega_x \omega_y + (\lambda_{22} - \lambda_{11})V_x V_y &= M_z,
 \end{aligned} \tag{1}$$

где M , I , λ — масса, моменты инерции «сухого» АНПА и присоединённые массы жидкости; F , M — внешние силы и моменты в проекциях на оси связанной СК XYZ.

В большинстве случаев для исследования режимов движения прибегают к разделению уравнений (1) на подсистемы, описывающие плоские движения, и игнорируют взаимосвязь каналов управления. В частности, можно пренебречь вращательным движением по крену и его влиянием на другие каналы [1].

Уравнения движения в горизонтальной плоскости имеют вид:

$$\begin{aligned}
 (M + \lambda_{11})\dot{V}_x &= F_{Дх} + F_{Гх} + F_{Вх}, \\
 (I_{yy} + \lambda_{55})\ddot{\psi} &= M_{Ду} + M_{Гу} + M_{Ву}, \\
 \dot{\xi} &= V_x \cos \psi + V_{теч} \xi, \\
 \dot{\zeta} &= V_x \sin \psi + V_{теч} \zeta,
 \end{aligned}$$

где $F_{Дх}$, $M_{Ду}$ — управляющая сила и момент управляющих сил в проекциях на оси связанной СК;

$F_{Гх}$, $M_{Гу}$ — гидродинамическая сила и момент гидродинамических сил в проекциях на оси связанной СК;

$F_{Вх}$, $M_{Ву}$ — возмущающая сила, и момент возмущающих сил, имеющие случайный характер;

ξ , ζ — координаты АНПА в местной географической СК.

По изложенному выше материалу была реализована модель движения АНПА по траектории типа «меандр» на языке C++.

Исходными данными для расчёта являются:

- характеристики меандра: длина рабочего галса, длина промежуточного галса, ширина фигуры;
- радиус окрестности точки;
- режим наведения;
- параметры АНПА;
- параметры внешней среды.

При моделировании рассматривалось движение АНПА по меандру длиной и шириной 1000 м, шириной промежуточного галса 250 м и принятым радиусом окрестности 10 м. Результаты моделирования представлены на рисунке 6 для движения при наведении методом погони и на рисунке 7 — для движения при наведении по линии визирования.

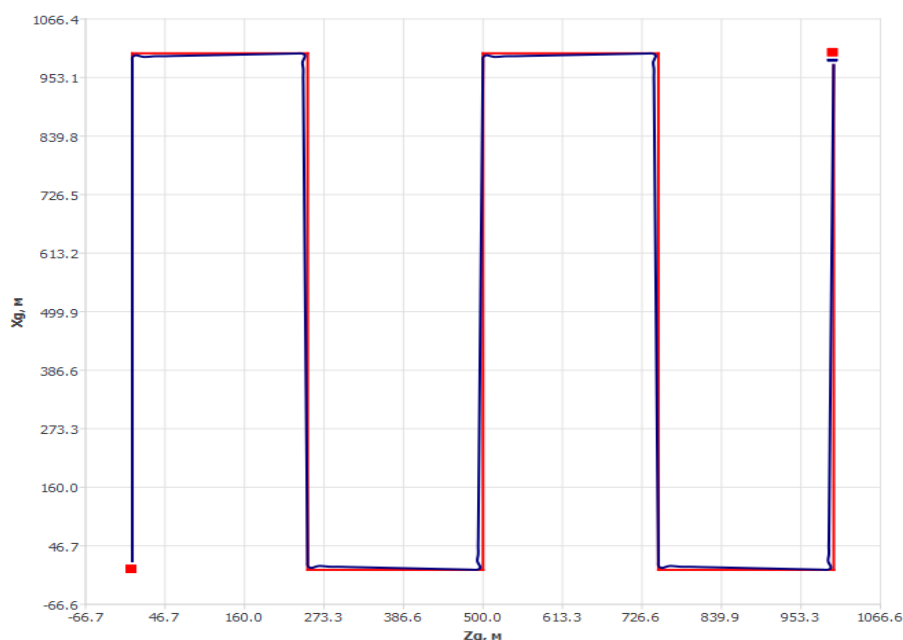


Рис. 6. Траектория движения АНПА при наведении методом погони: промоделированная траектория — синяя линия, заданный меандр — красная линия

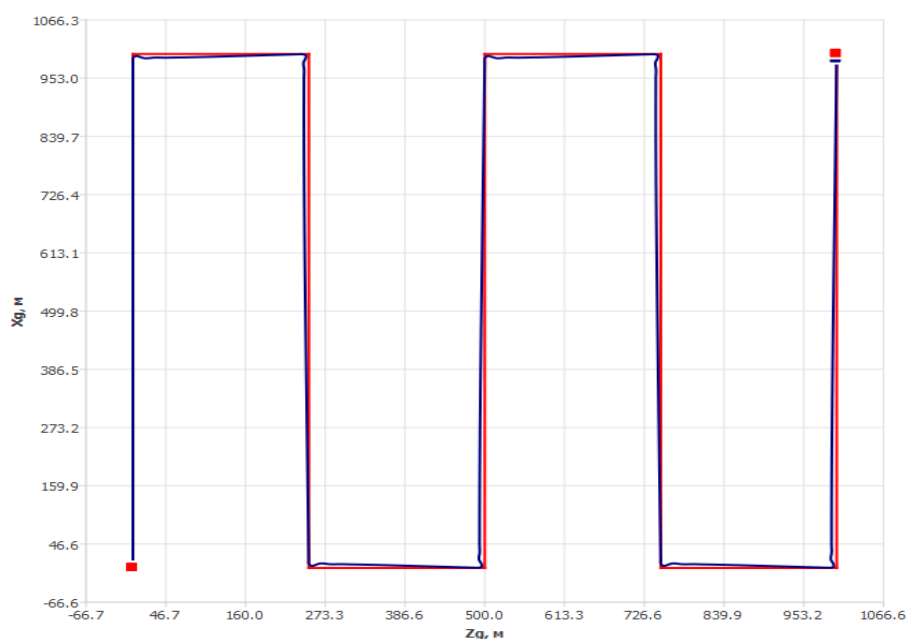


Рис. 7. Траектория движения АНПА при наведении по линии визирования: промоделированная траектория — синяя линия, заданный меандр — красная линия

Как показано на рисунках 6 и 7, промоделированная траектория движения АНПА практически наложена на форму заданного меандра, что говорит о корректности работы реализованных алгоритмов. Максимальное отклонение АНПА от траектории в обоих случаях составляет около 8 м и наблюдается в окрестности путевой точки в момент поворота АНПА.

Для выявления разницы между способами наведения было промоделировано движения АНПА в условиях течения величиной 1 узел (0,51 м/с), направленного на северо-восток. Результаты моделирования представлены на рисунках 8 и 9.

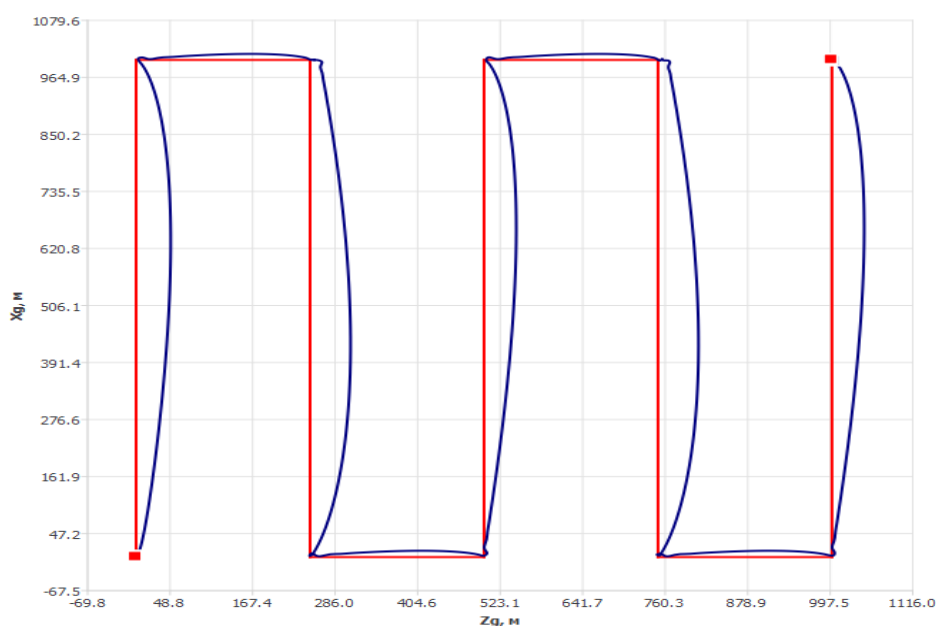


Рис. 8. Траектория движения АНПА при наведении методом погони: промоделированная траектория — синяя линия, заданный меандр — красная линия

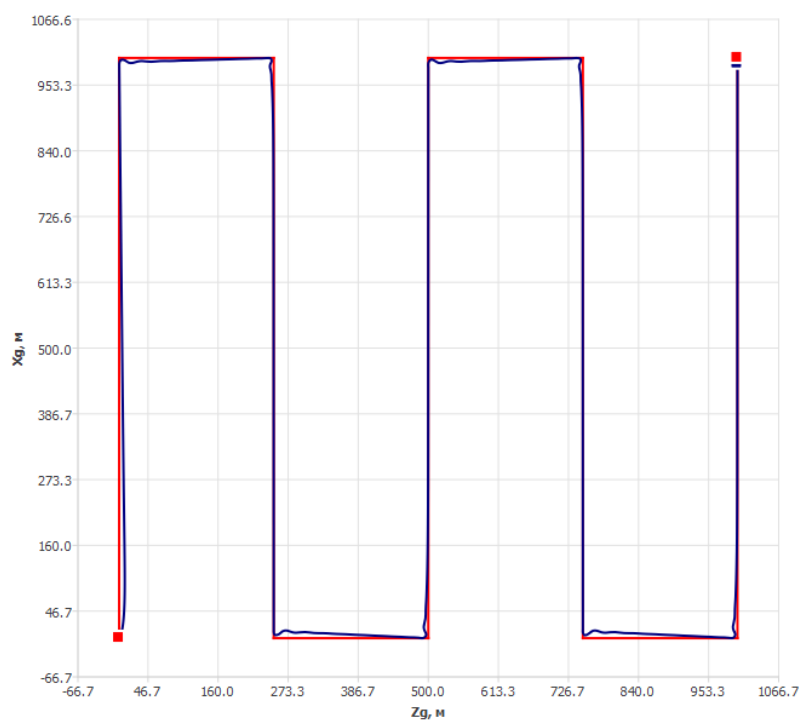


Рис. 9. Траектория движения АНПА при наведении по линии визирования: промоделированная траектория — синяя линия, заданный меандр — красная линия

Согласно результатам моделирования, траектория движения АНПА при наведении по линии визирования изменилась незначительно, тогда как при наведении методом погони наблюдается существенный снос АНПА. График изменения отклонения АНПА от заданной траектории при наведении методом погони представлен на рисунке 10.

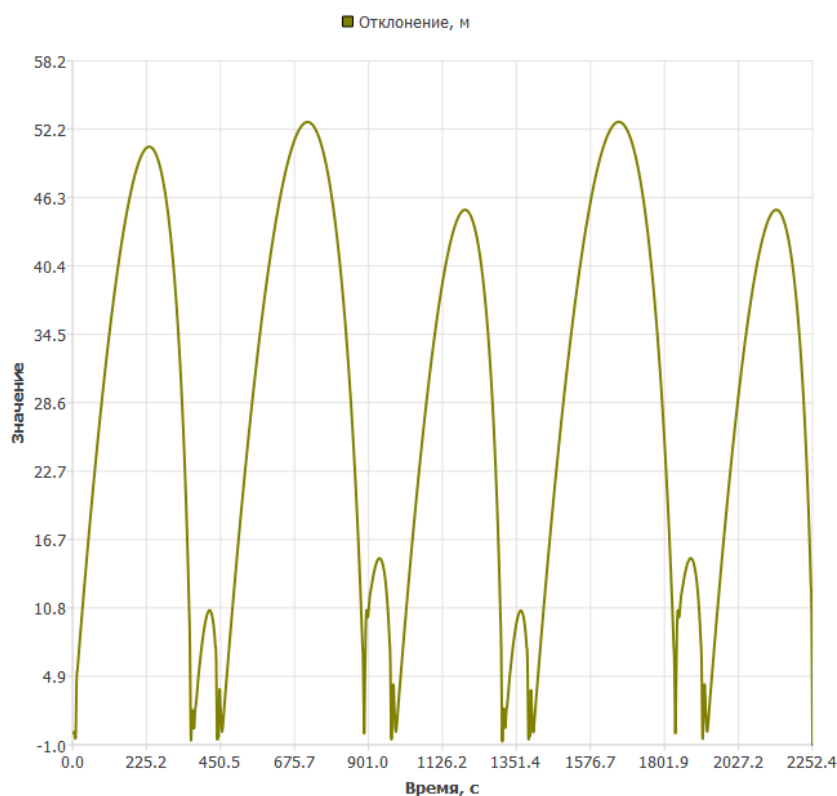


Рис. 10. График отклонения АНПА от заданной траектории при наведении методом погони

Как показано на рисунке 10, максимальное отклонение АНПА от траектории при наведении методом погони при данных условиях достигает 53 м, что составляет около четверти длины промежуточного галса.

Заключение

Дальнейшее использование разработанных алгоритмов возможно для отработки системы движением АНПА в плоскости горизонта.

Список литературы

- [1]. Агеев М.Д. Автономные подводные роботы / М.Д. Агеев, Л.В. Киселёв, Ю.В. Матвиенко и др. / Под общ. Ред. М.Д. Агеева. — М.: Наука, 2005. — 398 с.
- [2]. Грумондз В.Т. Теория движения двусредных аппаратов. Математические модели и методы исследования. / В.Т. Грумондз, В.В. Половинкин, Г.А. Яковлев — М.: Вузовская книга, 2012. — 644 с.: ил.
- [3]. Неупокоев Ф.К. Стрельба зенитными ракетами / Ф.К. Неупокоев — М.: Воениздат, 1991. — 343 с.
- [4]. Туфанов И.Е. Методы решения обзорно-поисковых задач с применением групп автономных необитаемых подводных аппаратов: дис. канд. тех. наук: 05.13.18 / Туфанов Игорь Евгеньевич. — Владивосток, 2014. — 121 с.