

УДК 681.518

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ БЕЗЭКИПАЖНОГО КАТЕРА (БЭК)

Калякина Елена Андреевна¹, бакалавр

e-mail: elenayas.ko@mail.ru

Ясинская Юлия Владимировна¹, к.т.н., доцент

e-mail: yasinskaya.spb@mail.ru

¹ Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Статья посвящена исследованию системы управления движением безэкипажного катера (БЭК). В работе проведено структурное моделирование управляемого движения БЭК с использованием как линейных, так и нелинейных функций управления в программе SimInTech. Разработанные математические модели преобразованы в структурные схемы и проанализированы на предмет выявления характеристик системы управления БЭК. Полученные в ходе исследования результаты могут быть использованы при проектировании конкретных безэкипажных катеров.

Ключевые слова: система управления; безэкипажный катер; математические модели.

RESEARCH ON THE MOTION CONTROL SYSTEM OF AN UNMANNED BOAT (UBM)

Elena A. Kalyakina¹, Bachelor's Degree Student

e-mail: elenayas.ko@mail.ru

Yulia V. Yasinovskaya², Candidate of Technical Sciences

e-mail: yasinskaya.spb@mail.ru

¹ Saint Petersburg State Marine Technical University, Saint Petersburg, Russia

Abstract. The article is devoted to the study of the motion control system of a crewless boat (BEC). The paper presents a structural simulation of controlled BEC motion using both linear and nonlinear control functions. The developed mathematical models were transformed into structural diagrams and analyzed to identify the characteristics of the BEC control system. The results obtained during the study can be used in the design of specific unmanned boats.

Keywords: control system, unmanned boat, mathematical models.

В Российской Федерации и ряде других стран разработаны безэкипажные катера (БЭК), способные повысить безопасность мореплавания, упростить выполнение различных задач и минимизировать риски для персонала судов и катеров.

Тем не менее, при внедрении БЭК необходимо учитывать все сложности, связанные с автоматическими системами. Это подразумевает проведение всестороннего тестирования и обучения таких систем перед их широким использованием.

Кроме того, БК могут быть использованы для выполнения различных силовых операций, в том числе разведывательных, противодиверсионных, контртеррористических, антисаботажных и других задач. Они способны быстро реагировать на изменения обстановки и поддерживать свои позиции на большом расстоянии от базы.



Рисунок 1 – Безэкипажный катер

Безэкипажные катера становятся все более популярными в различных сферах, от научных исследований до военных операций. Основным элементом их управления и функциональности служат современные датчики и оборудование, которые обеспечивают автономность и безопасность их эксплуатации [1].

Среди ключевых датчиков можно выделить системы глобального позиционирования (GPS), которые обеспечивают точное определение местоположения и маршрутную навигацию без участия человека. Лидары и радары используются для обнаружения препятствий и мониторинга окружающей среды, что позволяет оснащенным катерам маневрировать в сложных условиях.

В дополнение к сказанному, датчики, предназначенные для сбора гидрологических данных (температура, соленость, скорость течения), играют существенную роль в научных исследованиях морских экосистем. Интеграция камер и других сенсоров обеспечивает возможность проведения визуального наблюдения и мониторинга, что имеет важное значение как для целей охраны окружающей среды, так и для обеспечения безопасности судоходства.



Рисунок 2 – Катер-дрон на базе «Визира» от Кингисеппского машиностроительного завода

Таким образом, современные технологии делают БЭК высокотехнологичными и многофункциональными инструментами, открывая новые горизонты для применения в различных областях.

К основным достоинствам БЭК можно отнести:

- возможность быстрых маневров и изменения направления движения, что повышает эффективность наблюдения и снижает риски для экипажа;
- возможность использования в зонах с высоким риском, таких как зоны боевых действий или места активной добычи ресурсов на морском дне;
- способность работать в погодных условиях, которые могут быть опасными для членов экипажа;
- возможность обеспечения непрерывного мониторинга и сбора данных на больших расстояниях.

Однако, несмотря на все преимущества и перспективы использования безэкипажных катеров, они не являются универсальным решением для всех видов деятельности на море. Каждая операция требует комплексного подхода и выбора наиболее эффективных средств выполнения задачи, включая как традиционные корабли, так и БЭК. На данном этапе развития технологий БЭК имеют определенные ограничения в возможностях вооружения и наблюдения. Поэтому их применение требует тщательного анализа и оценки в каждом конкретном случае.

Помимо этого, БЭК может выполнять задачи связанные с обеспечением командования корабля, управлением полетом БПЛА, обнаружением и классификацией объектов на поверхности моря и под водой, а также с целевым наведением вооружения. В общем, БЭК обеспечивает эффективную работу корабля на море в самых различных условиях и задачах.

Одной из задач БЭК является мониторинг побережья сложной конфигурации при разработке плана высадки десанта на это побережье. Это позволяет избежать потерь людей и вооружения во время десантирования [2].

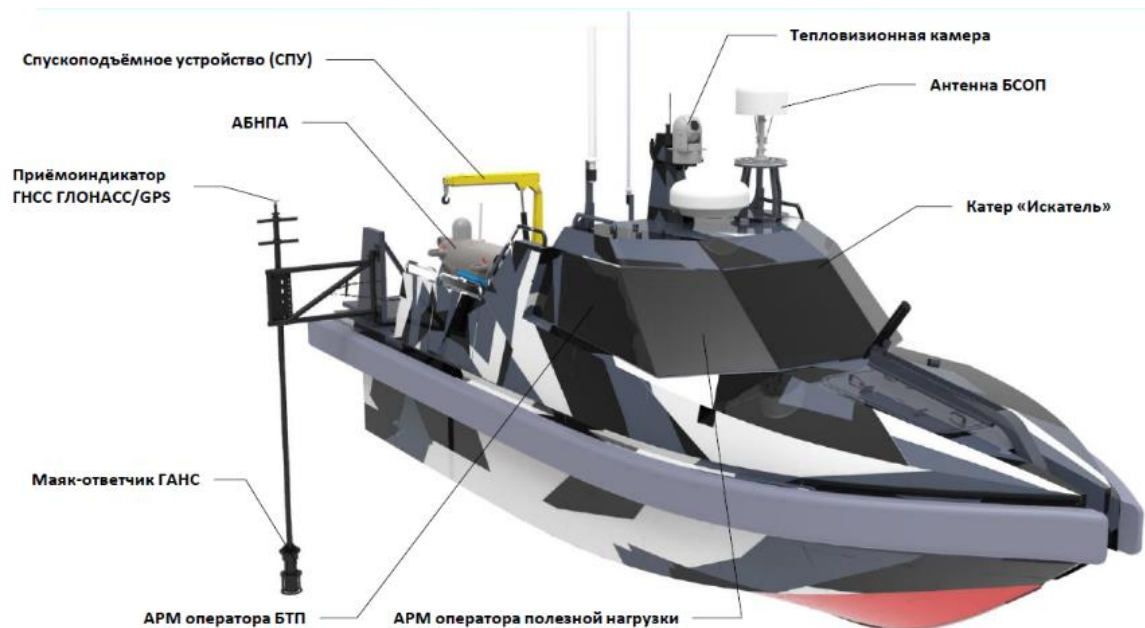


Рисунок 3 – Автономный безэкипажный необитаемый подводный аппарат «СКАТ»

Для начала исследования системы управления движением БЭК требуется указать линейные функции управления БЭК, (табл. 1). Затем на основе полученных расчетов нужно построить структурную схему моделирования управляемого движения БК с использованием линейных функций в программе SimInTech.

Таблица 1. Линейные функции управления БК

№	Вид маневра	Заданные параметры	Измеряемые параметры	Управляющая функция	Параметр, характеризующий качество движения
1	Движение БК по дуге окружности	$\pm \omega_y (1/RAD)$	$\omega_y(t)$	$\delta_B = K_{\omega_y} (\omega_y(t) - \omega_y)$	K_{ω_y} - зависит от качества движения БК
2	Выход БК на заданный курс	$\pm \psi (RAD)$	$\psi(t)$	$\delta_B = K_{\psi} (\psi(t) - \psi)$	K_{ψ}
3	Стабилизация БК на заданном курсе	$\pm \psi (RAD)$	$\psi(t), \omega_y(t)$	$\delta_B = K_{\psi} (\psi(t) - \psi) + K_{\omega_y} \omega_y(t)$	K_{ψ}, K_{ω_y}

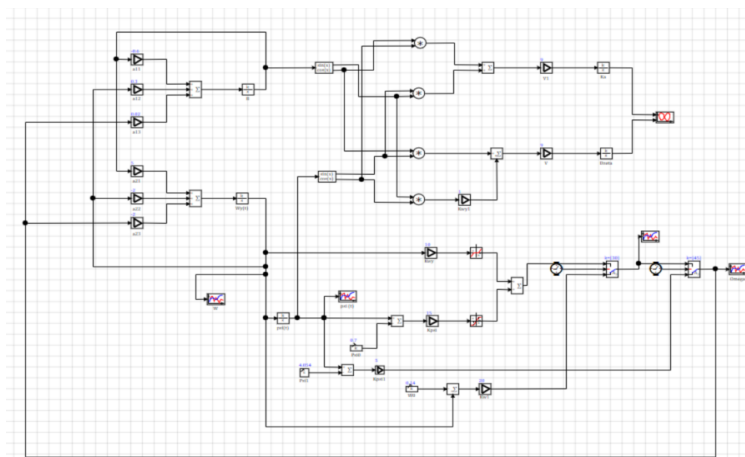


Рисунок 4 – Идеальная структурная схема моделирования управляемого движения безэкипажного катера

Далее рассмотрим моделирование процесса отображения траектории БК с использованием нелинейных дифференциальных уравнений.

Для отображения траектории БК используем совмещенные системы координат (рис. 5).

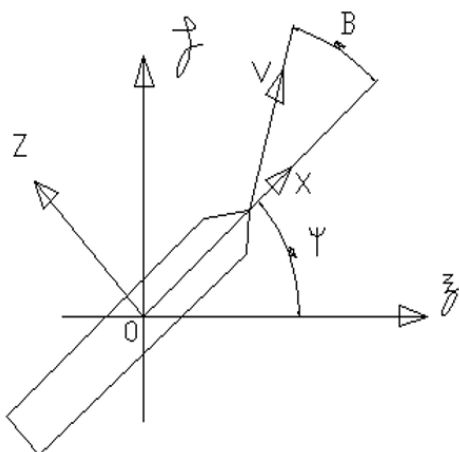


Рисунок 5 – Совмещенные системы координат

V — вектор линейной скорости

β — угол дрейфа

Проекции вектора линейной скорости на оси связанные с ним системы координат:

$$\begin{cases} V_x = \cos(\beta(t)) \\ V_z = \sin(\beta(t)) \end{cases} \quad (1)$$

Источником переменной $\beta(t)$ является математическая модель объекта управления. Система (1) будет использоваться при построении математической модели отображения траектории движения БК. Эта модель представляет собой систему нелинейных дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{d\xi}{dt} = V_x \cos(\psi(t)) + V_z * \sin(\psi(t)) \\ \frac{d\zeta}{dt} = -V_x \sin(\psi(t)) + V_z * \cos(\psi(t)) \end{cases} \quad (2)$$

Для решения системы (2) ее дополняют начальными условиями:

$$t = 0$$

$$\zeta(0) = \zeta_0$$

$$\xi(0) = \xi_0$$

Рассмотрим возможные формы записи решения уравнений системы (2). Если использовать решающие элементы аналогового типа, то решение записывается в виде:

$$\begin{cases} \xi(t) = \int_0^t (V(\cos(\beta(t)) \cos(\psi(t)) + \sin(\beta(t)) \sin(\psi(t)))) dt + \xi_0 \\ \zeta(t) = \int_0^t (V(-\cos(\beta(t)) \sin(\psi(t)) + \sin(\beta(t)) \cos(\psi(t)))) dt + \zeta_0 \end{cases} \quad (3)$$

Аналитическая форма записи позволяет сформировать два одномерных массива.

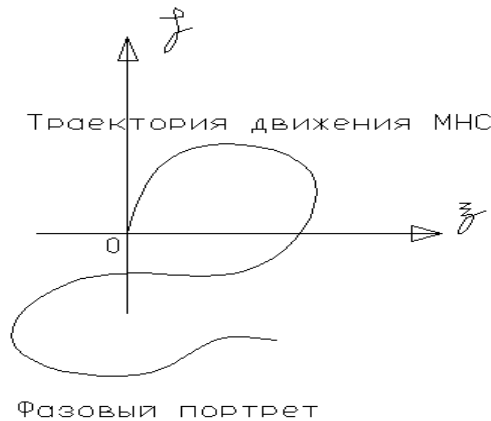


Рисунок 6 – $\zeta(\xi)$ – траектория движения безэкипажного катера

В качестве альтернативы решения системы (3) используют конечно-разностное представление дифференциальных уравнений системы (2). Заменяя в системе (2) дифференциал зависимых переменных

$$\begin{aligned} d\zeta &\approx \zeta_{i+1} - \zeta_i \\ d\xi &\approx \xi_{i+1} - \xi_i \\ dt &\approx \Delta t = h, \end{aligned}$$

можно систему (2) записать в конечно-разностной форме:

$$\begin{cases} \xi_{i+1} = \xi_i + \Delta t (V(\cos(\beta_i) \cos(\psi_i) + \sin(\beta_i) \sin(\psi_i))) \\ \zeta_{i+1} = \zeta_i + \Delta t (V(-\cos(\beta_i) \sin(\psi_i) + \sin(\beta_i) \cos(\psi_i))) \end{cases} \quad (4)$$

$$i = 0$$

$$\zeta_0 = 0$$

$$\xi_0 = 0$$

Если скорость БК задана постоянной, то для решения системы (4) в качестве источника информации о текущих значениях углов дрейфа и курса выбирают математическую модель объекта управления. [3]

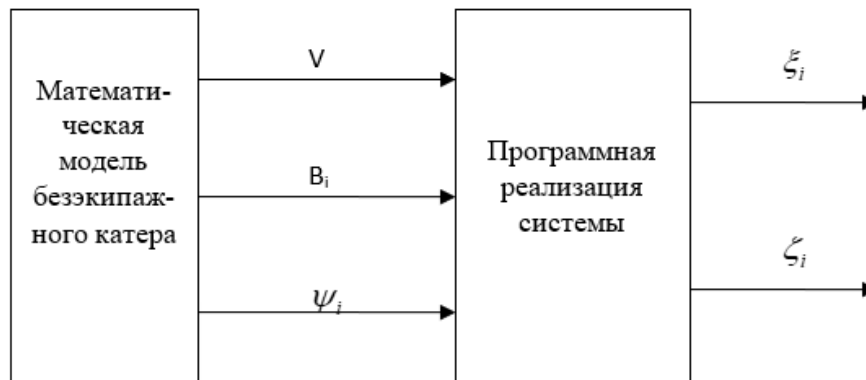


Рисунок 7 – Структура связи модели безэкипажного катера и отображения его траектории

Более наглядным способом представления процесса решения является разработка структурной схемы моделирования задачи (3). Она включает:

- 1) источник входных данных ($\beta(t)$ и $\varphi(t)$),
- 2) датчик скорости БЭК (V),
- 3) совокупность линейных и нелинейных решающих элементов для реализации подынтегральных функций в выражениях (3),
- 4) средства графического отображения результатов решения системы (3).

Для исследования модели управляемого движения объекта БЭК при различных режимах его маневрирования необходимо преобразовать модель к виду, адекватному используемому инструменту моделирования.

$$\left\{ \begin{array}{l} \delta_{\beta}(t) = K_{\psi}(\psi(t) - \psi) + K_{\omega_y}\omega_y(t) \\ \beta(t) = \int_0^t (a_{11}\beta(t) + a_{12}\omega_y(t) + a_{13}\delta_{\beta}(t)) dt + \beta_0 \\ \omega_y(t) = \int_0^t (a_{21}\beta(t) + a_{22}\omega_y(t) + a_{23}\delta_{\beta}(t)) dt + \omega_{y_0} \\ \psi(t) = \int_0^t \omega_y(t) dt + \psi_0 \\ \xi(t) = \int_0^t (V(\cos(\beta(t)\cos(\psi(t)) + \sin(\beta(t))\sin(\psi(t)))) dt + \xi_0 \\ \zeta(t) = \int_0^t (V(-\cos(\beta(t)\sin(\psi(t)) + \sin(\beta(t))\cos(\psi(t)))) dt + \zeta_0 \end{array} \right. \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \zeta_0 &= \zeta(t) \\ \xi_0 &= \xi(t) \\ t &= t_k \end{aligned}$$

Таким образом, структура модели для реализации системы будет выглядеть следующим образом.

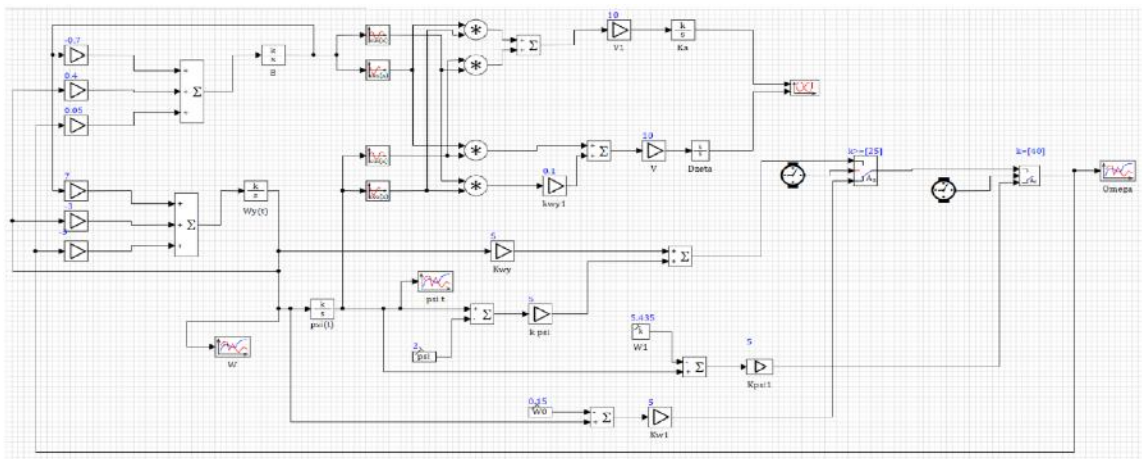


Рисунок 8 – Структура модели для реализации системы в программе SimInTech

Используя измеряемые параметры нелинейных функций управления движением БЭК при моделировании сложных траекторий, реализуемых БЭК, можно получить структурную схему моделирования с нелинейными статическими характеристиками измерителей информации о курсе и угловой скорости БЭК, а также следующие результаты исследования модели системы управления движением БЭК. [4]

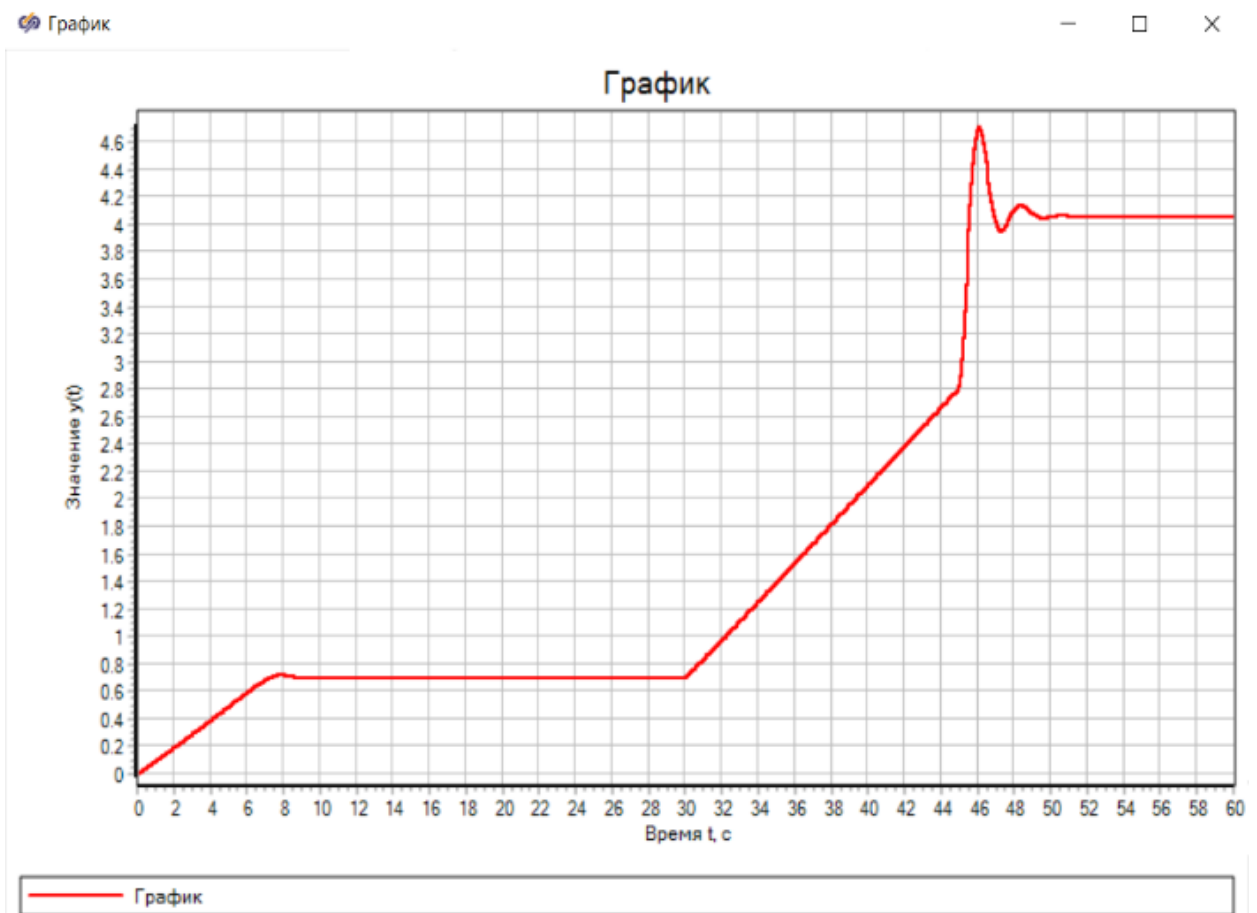


Рисунок 9 – График курса

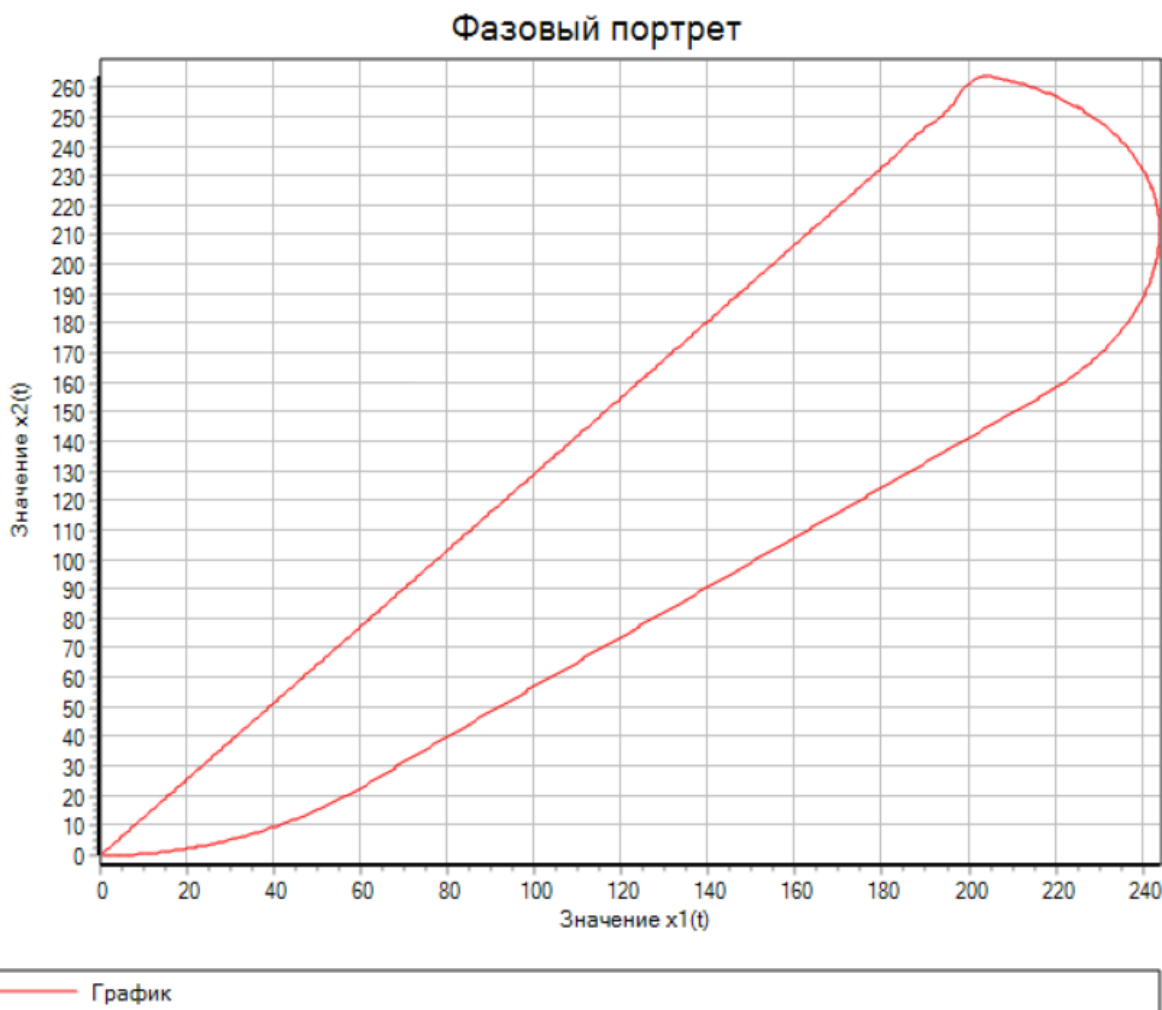


Рисунок 10 – Траектория БК по обследованию экстремального объекта

Вывод: разработаны математические модели системы управления движением безэкипажного катера. Данные модели реализованы в инструментальной среде SimInTech. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании конкретного безэкипажного катера.

Список литературы

1. Трушенков, В. В. Состояние и перспективы развития безэкипажных катеров. Предложения в концепцию развития и применения безэкипажных катеров ВМФ России / В. В. Трушенков, А. И. Кабанов, В. А. Сударчиков [и др.]. - Санкт-Петербург: ГНЦ РФ ОАО «Концерн «Морское подводное оружие - Гидроприбор», 2016.
2. Пинский А.С. Е-навигация и безэкипажное судовождение// Транспорт Российской Федерации. – СПб.: Т-Пресса, 2016. – Вып. No 65.
3. Круглеевский В.Н., Денисов В.И. Особенности развития, задачи и состав комплекса «Безэкипажный роботизированный катер» // Судостроение. – СПб.: Центр технологии судостроения и судоремонта, 2013. – Вып. No 810.

4. Шмаков, А.С. Малые формы подводной робототехники на безэкипажных катерах, их спускоподъемные и пусковые устройства / А. С. Шмаков, Р. В. Виктор, Н. А. Корнилов // Научно-технические технологии, 2020. № 7 (21).

