

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС МОДЕЛИРОВАНИЯ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ АВТОНОМНОГО НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА

Росновский Р.С.¹, Езангина Т.А.²

¹ Муниципальное автономное общеобразовательное учреждение средняя общеобразовательная школа № 4 им. И.С. Черных г. Томска, e-mail: eta@tpu.ru

² Национальный исследовательский Томский политехнический университет, ведущий научный сотрудник, e-mail: eta@tpu.ru

Введение

В настоящее время развитие подводной робототехники является одним из приоритетных направлений Российской Федерации. Важным элементом в ее арсенале являются автономные необитаемые подводные аппараты. Они применяются для решения научно-исследовательских и прикладных задач в интересах различных отраслей экономики [1–3].

Очевидно, что качество выполнения перечисленных задач зависит от точности и скорости движения подводного аппарата. При этом существует проблема разработки самого аппарата и риск повреждения дорогостоящего аппарата при его эксплуатации. В связи с этим, использование симуляторов является необходимым для разработки робототехнических систем и при этом является доступным с точки зрения трудозатрат и стоимости экспериментов.

Таким образом, целью работы является разработка симулятора движения автономного необитаемого подводного аппарата (АНПА).

Математическая модель системы управления движением подводного аппарата

Для достижения данной цели составлена структура системы управления движением АНПА [4]. При ее составлении получены: зависимости гидродинамических сил и моментов от углов атаки и скольжения на разных скоростях; математическая модель исполнительных механизмов, системы дифференциальных уравнений, описывающих динамику и кинематику подводного аппарата; методы синтеза регулятора [5]. Проведен анализ управляемости подводного аппарата и оценка гидродинамических сил и моментов.

3D-модель подводного аппарата

В результате математического описания АНПА разработана его 3D-модель, которая приведена на рис. 1. Данная модель составлена в Blender.

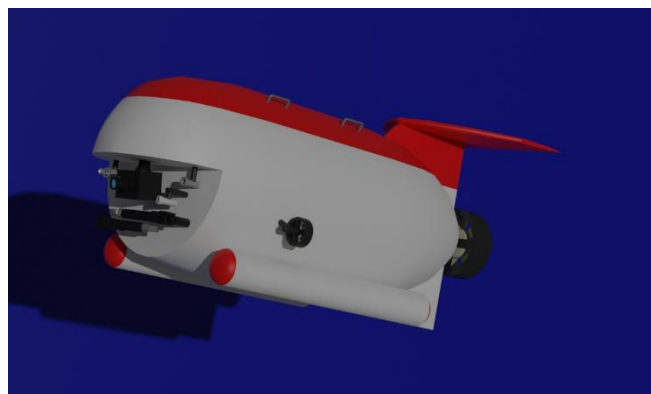


Рис. 1. 3D-модель АНПА

Структура программного комплекса

На основе полученных результатов разработан программный комплекс (ПК) моделирования и визуализации движения подводного аппарата («SMAV»). Его структура приведена на рис. 2.

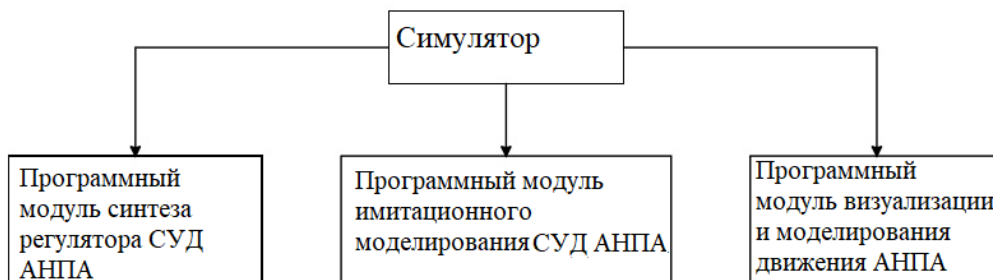


Рис. 2. Структура ПК «SMAV»

ПК «SMAV» включает:

- программный модуль синтеза регулятора системы управления движения (СУД) АНПА;
 - программный модуль имитационного моделирования СУД АНПА;
 - программный модуль визуализации и моделирования движения АНПА.
- Далее рассмотрим более подробно каждый блок ПК «SMAV».

Программный модуль синтеза регулятора СУД АНПА

Функции модуля: синтез пропорционально-интегрального, пропорционально-интегрально-дифференциального регулятора и определение показателей качества системы (степень устойчивости и колебательности). Результаты применения программного модуля для синтеза пропорционально-интегрального регулятора приведены на рис. 3. Программный модуль реализован на C++.

Синтез робастного регулятора

Файл Правка Вид Справка Назад Далее

Задать допустимые робастные показатели качества ИСУ

Допустимую степень робастной устойчивости ρ_d Допустимую степень робастной колебательности δ_d Минимальную допустимую добротность D_v

0.01 0.0455 3.73

Вид решения

☒ Через допустимую степень робастной колебательности δ_d ☐ Через минимальную допустимую добротность D_v

Выбрать решаемую задачу

☐ Определить настройки регулятора при заданной допустимой степени устойчивости ρ_d

☐ Определить настройки регулятора и квазиэквивалентную степень робастной устойчивости ρ_{max}

☒ Старт

Исходные параметры

Настройки регулятора при заданной допустимой степени устойчивости ρ_d

k_0	k_1
199.8105	469.3372

Настройки регулятора и квазиэквивалентная степень робастной устойчивости ρ_{max}

k_0	k_1
199.8105	696.1784

Квазиэквивалентная степень робастной устойчивости ρ_{max} Максимальное время переходного процесса t

0.0185 162.1622

Рис. 3. Результат синтеза регулятора в ПК «SMAV»

Модуль имитационного моделирования СУД АНПА

Модуль включает функции:

- построение переходных характеристик системы;
- построение импульсных характеристик системы;
- построение областей локализации нулей и полюсов системы.

Результат построения переходных характеристик приведен на рис. 4. Программный модуль реализован на C++.

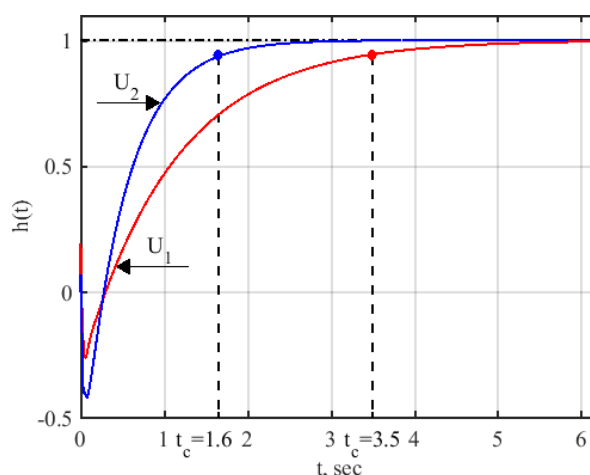


Рис. 4. Результат имитационного моделирования СУД АНПА

Модуль визуализации и моделирования движения АНПА

Программный модуль моделирует движения АНПА по типовым траекториям: зигзаг, спираль, циклоида и т.д. Программный модуль реализован на C++. Результаты работы программного модуля приведены на рис. 5.

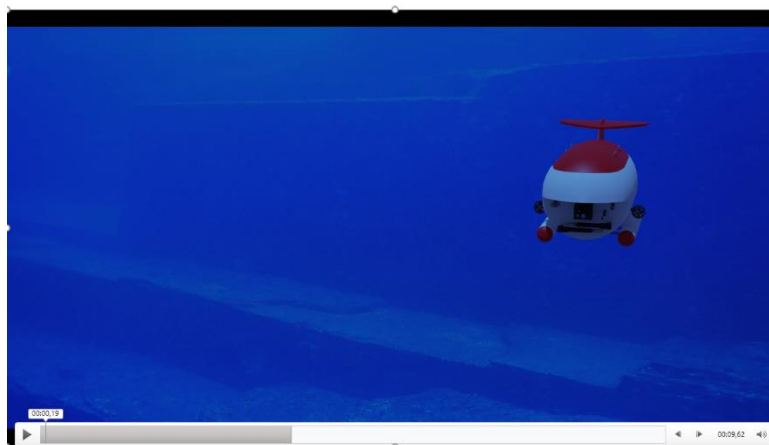


Рис. 5. Визуализация движения АНПА по заданной траектории

Заключение

В результате проведенного исследования разработан симулятор движения АНПА. Для этого составлена математическая модель СУД АНПА. На основе данной модели спроектирована 3D-модель АНПА. В работе представлены результаты применения симулятора для визуализации движения АНПА по заданной траектории.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФ # 24-29-00645

Список использованных источников

1. Костенко В.В., Михайлов Д.Н. Разработка телеуправляемого подводного аппарата «МАКС-300» // Подводные исследования и робототехника. – 2012. – № 1. – С. 36–46.
2. Гоцык М.О., Жиленков А.А. Перспективы использования автономных необитаемых подводных аппаратов // Actualscience. – 2016. – Т. 2, № 4. – С. 46–48.
3. Лискин В.А., Зарецкий А.В., Римский-Корсаков Н.А. Разработка глубоководных буксируемых систем для исследования придонной области океана // Научное обозрение. Технические науки. – 2019. – № 1. – С. 37–42.
4. Ezangina T.A. Mathematical model of interval control system of underwater vehicle motion // Asian Journal of Control. – 2025.
5. Ezangina T.A., Gayvoronskiy S.A. Ensuring Maximum Stability Degree in the Systems with Interval Parameters // Applied Mechanics and Materials. – 2015. – Vol. 752–753. – P. 955–961.