

2. Ward, P., "An Inside View of Pseudorange and Delta Pseudorange Measurements in a Digital NAVSTAR GPS Receiver," International Telemetry Conference, GPS-Military and Civil Applications, San Diego, CA, October 14, 1981, pp. 63–69.
3. van Graas, F., and A. Soloviev, "Precise Velocity Estimation Using a Stand-Alone GPS Receiver," NAVIGATION: Journal of The Institute of Navigation, Winter 2004–2005.
4. Nejrómnye seti: polnyj kurs, 2-e izdanie.: Per. s angl. – M.: Izdatel'skij dom «Vil'yams», 2006. – 1104 s.: il. – Paral. tit. angl.
5. Kohonen T., "The self-organizing map", Proceedings of the Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1990, vol. 78, p. 1464-1480
6. Kohonen T., "Learning vector quantization for pattern recognition", Technical Report TTK-F-A601, Helsinki University of Technology, Finland, 1986
7. Kohonen T., "Self-organized formation of topologically correct feature maps", Biological Cybernetics, 1982, vol. 43, p. 59-69

УДК 656.61.052: 629.5.06

DOI: 10.34046/aumsuomt101/9

## РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ БУКСИРА-АВТОМАТА С АЗИМУТАЛЬНЫМИ ВИНТОРУЛЕВЫМИ КОЛОНКАМИ (АБА) С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ АДДИТИВНОГО МАКЕТИРОВАНИЯ

*С.Н. Стуконог, аспирант*

В исследовании продемонстрированы алгоритмы работы группы моделей АБА на платформе всенаправленного движения. Представлена спроектированная модель АБА, включающая в себя, такие компоненты как корпус судна, килевая конструкция (КК) и винто-рулевые колонки (ВРК). Модель АБА была воссоздана посредством 3-Д печати. Показан алгоритм движения АБА, апробированный при помощи написанного программного кода, а также программное обеспечение (ПО) с демонстрацией работы алгоритмов в интерфейсном окне.

**Ключевые слова:** лоцманская проводка судна, автоматизированная швартовка судна, азимутальный буксир-автомат, судно с автоматическим управлением.

## DEVELOPMENT OF A MODEL OF AN AUTOMATIC TUG WITH AN AZIMUTH STEERING COLUMN USING ADDITIVE PROTOTYPING TECHNOLOGIES

*S.N. Stukonog*

The study demonstrates the algorithms for the work of a group of ABA models on the omnidirectional motion platform. The designed model of ABA is presented, which includes such components as the ship's hull, keel structure (KK) and propeller-driven propellers (VRK). The ABA model has been recreated through 3-D printing. Shown is the ABA movement algorithm tested using the written program code, as well as software (software) with a demonstration of the algorithms in the interface window.

**Keywords:** pilotage of a vessel, automated mooring of a vessel, azimuth automatic tug, unmanned vessel.

В научно-исследовательской лаборатории «Автоматизация судовождения» ФГБУ ВО «ГМУ им. адм. Ф.Ф. Ушакова» продолжается работа над внедрением современных технических решений БЭС СП [1]. В настоящее время производится моделирование системы управления группой АБА с использованием двух ВРК.

Важной частью решения задачи безэкипажного судовождения в современном порту (БЭС СП) стал режим дистанционного пилотирования подвижными объектами. Лоцманская проводка и швартовка судов в морской зоне и на подходах к ней требует внедрения современных технических решений [2].

На начальной стадии разработка модели, для демонстрации работы алгоритмов движения

АБА, включила в себя управление платформой с колесами всенаправленного движения [3].

Были созданы четыре модели АБА для демонстрации процесса лоцманской проводки и швартовки судна к грузовому терминалу (см. рисунок 1).

Дальнейшие исследования включили в себя создание модели АБА с использованием тех же внутренних компонентов, что и в АБА с колесами всенаправленного движения и двух ВРК. Были созданы 3-Д модели корпуса АБА, ВРК и КК (см. рисунок 2).

Нос и корма буксира имеют одинаковое строение, что позволяет совершать продольное движение с одинаковой скоростью. Две ВРК расположены в диаметральной плоскости, что позволяет двигаться в любом направлении и совершать

маневры на минимальной площади, например, разворот на месте. Горизонтальный киль минимизирует крен при движении лагом. Электромагнит-

ное швартовное устройство позволяет швартоваться к любому судну без использования канатов, а также совершать как тяговые, так и толкающие усилия.



Рисунок 1 – Демонстрации процесса лоцманской проводки и швартовки



Рисунок 2 – 3-Д модель АБА

Благодаря устройствам аддитивного макетирования были распечены разработанные 3-Д модели (см. рисунок 3). Участвующие в механических движениях, компоненты ВРК были распе-

чатаны на фотополимерном принтере, что обеспечит надёжное соединение самых мелких компонентов, таких как шестерни, валы, винты, а также сам корпус ВРК.

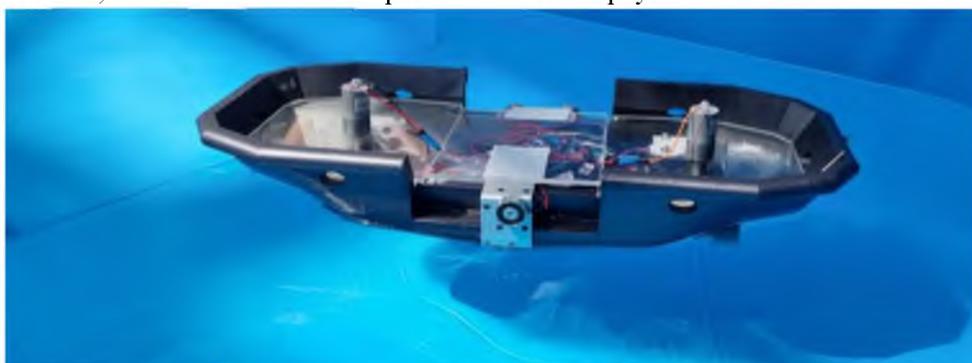
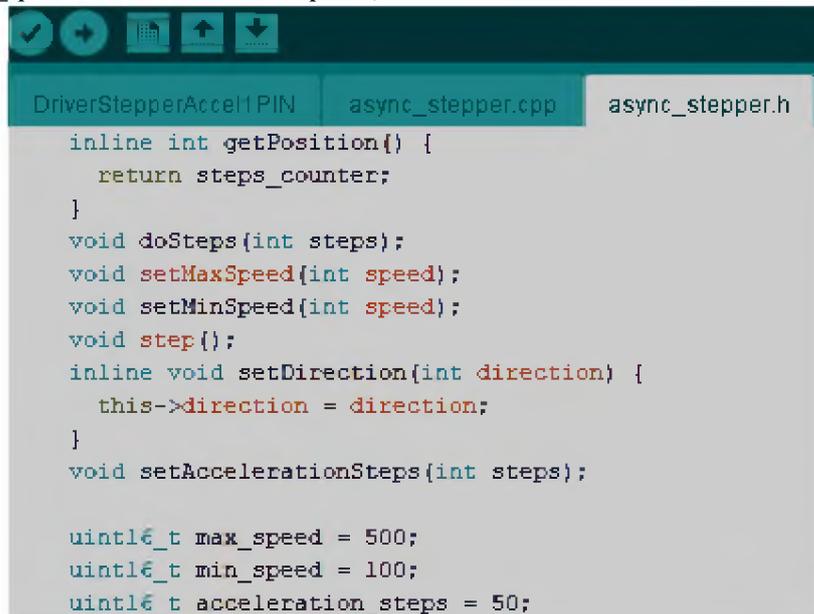


Рисунок 3 – Функционирующая модель АБА

Создано ПО для управления моделью АБА. Скорость вращения самой ВРК, посредством управления шагового двигателя (см. рисунок 4).

Где `min_speed` – начальная скорость (шагов в секунду); `max_speed` – максимальная скорость;

`acceleration_steps` – количество шагов, за которые скорость от минимальной до максимальной достигается при ускорении.



```

DriverStepperAccel.cpp  async_stepper.cpp  async_stepper.h
inline int getPosition() {
    return steps_counter;
}
void doSteps(int steps);
void setMaxSpeed(int speed);
void setMinSpeed(int speed);
void step();
inline void setDirection(int direction) {
    this->direction = direction;
}
void setAccelerationSteps(int steps);

uint16_t max_speed = 500;
uint16_t min_speed = 100;
uint16_t acceleration_steps = 50;
    
```

Рисунок 4 – ПО Arduino IDE



```

#pragma once

#define MAGNET_PIN 13

#define STEPS_PER_RELOVUTION 720

#define FRONT_STEPPER_STEP 5
#define FRONT_STEPPER_DIR 6

#define FRONT_MOTOR_PWM 3
#define FRONT_MOTOR_A 2

#define REAR_STEPPER_STEP 10
#define REAR_STEPPER_DIR 11

#define REAR_MOTOR_PWM 5
#define REAR_MOTOR_A 4
    
```

Рисунок 5 – Часть кода скрипта

Где `STEPS_PER_RELOVUTION` – константа, задает количество шагов для полного оборота ВРК.

ПО представляет собой программу, разработанный на языке программирования python [4], для управления моделью АБА, интерфейс которой продемонстрирован на рисунках 6, 7 и 8. Рисунок 6 демонстрирует статичное положение модели АБА. На рисунке 7 можно увидеть движение в заданном джойстиком направлении и на рисунке 8 движение модели вокруг своей оси на заданный градус.

В работе продемонстрированы результаты создания 3-Д моделирования модели АБА, воссозданной благодаря устройствам аддитивного макетирования. Показана работа написанной программы по управлению данной моделью. Дальнейшая разработка будет включать в себя создание еще трех моделей АБА для тестирования системы мультиагентного управления. Результаты моделирования системы управления группой АБА могут лечь в основу создания системы автономного судовождения в акватории порта БЭС СП.

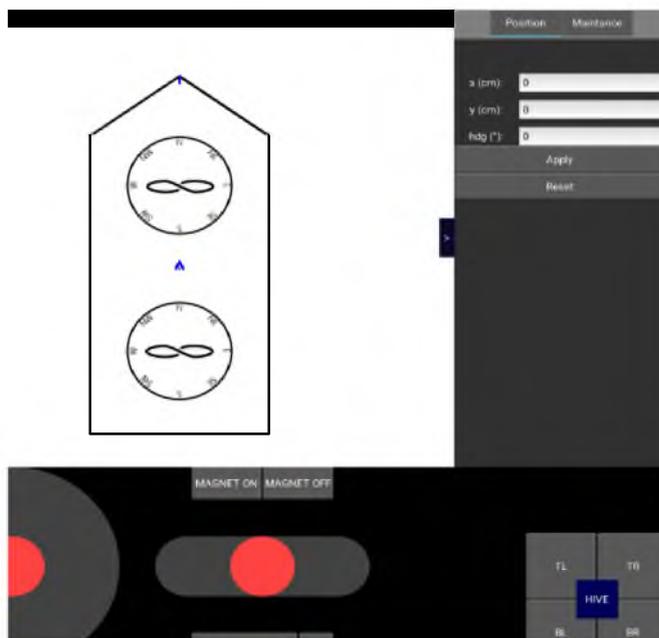


Рисунок 6 – Статичное положение АБА

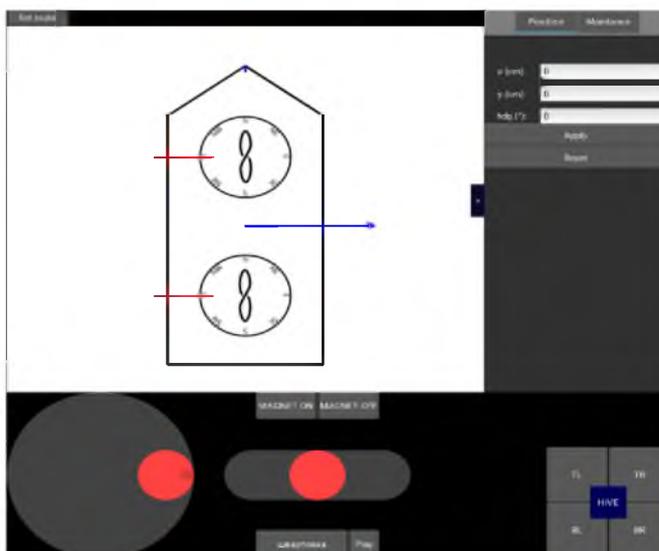


Рисунок 7 – АБА в движении

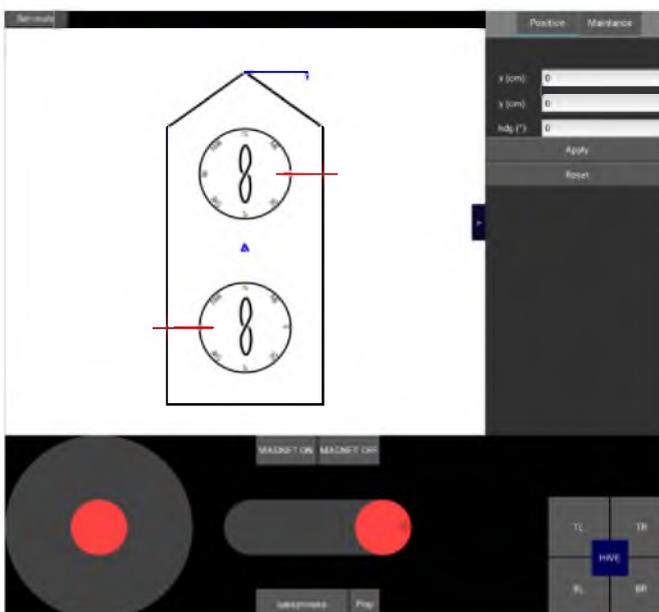


Рисунок 8 – Поворот (разворот) АБА

## Литература:

1. Сенченко В.Г. Автоматизированный навигационный комплекс: практикум / В.Г. Сенченко, А.Л. Боран-Кешипьян, Д.С. Папулов. – Новороссийск: ГМУ им. адмирала Ф.Ф. Ушакова, 2015. – 122 с.
2. Зеленков Г.А. Проблемы создания беспилотных портовых буксиров-кантовщиков и концептуальные пути их решения / Г.А. Зеленков, В.В. Устинов, М.С. Лопатин. // Морские интеллектуальные технологии. – 2019. – №4. – С. 111-119.
3. Стуконог С.Н. Способ управления моделью буксира-автомата с азимутальной рулевой колонкой с использованием колес всенаправленного движения / С.Н. Стуконог. – М.: Транспортное дело России, – 2021. – №3(154). – С. 107-114.
4. Буйначев С.К. Моделирование движения и нагрузок плоских и грузовых плоских механизмов на языке python: учебное пособие / С.К. Буйначев, Е.Е. Баженов, И.В. Троицкий. – Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2019. – 80 с.

## References

1. Senchenko V.G. Avtomatizirovannyj navigacionnyj kompleks: praktikum / V.G. Senchenko, A.L. Boran-Keshish'yan, D.S. Papulov. – Novorossiysk: GMU im. admirala F.F. Ushakova, – 2015 g. – 122 s.
2. Zelenkov G.A. Problemy sozdaniya bespilotnyh portovyh buksirov-kantovshchikov i konceptual'nye puti ih resheniya / G.A. Zelenkov, V.V. Ustinov, M.S. Lopatin. – Novorossiysk: MGA im. adm. F.F. Ushakova: Morskie intellektual'nye tekhnologii, – 2019 g. – №4 – s. 111-119.
3. Stukonog S.N. Sposob upravleniya model'yu buksira-avtomata s azimutal'noj rulevoj kolonkoj s ispol'zovaniem koles vsenapravlenno go dvizheniya / S.N. Stukonog. – M.: Transportnoe delo Rossii, – 2021 g. – №3(154) – s. 107-114
4. Bujnachev S.K. Modelirovanie dvizheniya i nagruzok ploskih i nagruzok ploskih mekhanizmov na yazyke python / uchebnoe posobie / S.K. Bujnachev, E.E. Bazhenov, I.V. Troickij – Ekaterinburg: Izdatel'stvo Ural'skogo universiteta – 2019 g. – 80 s.

УДК656.052.4:656.052.7

DOI: 10.34046/aumsuomt101/10

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ СУДНА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ УПРАВЛЕНИЯ ИМ В ПРОЦЕССЕ ВЫПОЛНЕНИЯ ШВАРТОВОЙ ОПЕРАЦИИ

*Ю.И. Юдин, доктор технических наук, профессор  
В.В. Перевозов, капитан*

Целью представленных здесь результатов исследования является разработка и анализ способов швартовки с использованием предложенного инновационного принципа управления судном по отклонениям, и, тем самым, повышения эффективности этих операций. Предварительно определены структурно и идентифицированы параметрически математические модели судна, адекватно представляющие характер его поведения на различных этапах швартовой операции. Модели использованы при проведении модельных испытаний маневрирования судна на первом и втором этапах швартовки с помощью управления им по отклонениям от заданной траектории с использованием движительно-рулевого комплекса судна. В качестве объекта для выполнения исследований выбран контейнеровоз проекта ARCTICCONTAINERSHIPACS 650. Результаты выполненных модельных экспериментов представлены в настоящей статье.

**Ключевые слова:** швартовая операция, модель движения судна, заданная точка, заданная линия, управление по отклонениям.

## SIMULATION OF THE MOVEMENT OF THE VESSEL WITH DIFFERENT WAYS OF CONTROLLING IT IN THE PROCESS OF PERFORMING A MOORING OPERATION

*Yu.I. Yudin, V.V. Perevozov*

The purpose of the research results presented here is the development and analysis of mooring methods using the proposed innovative principle of ship control by deviations, and, thereby, increasing the efficiency of these operations. The structurally defined and parametrically identified mathematical models of the vessel adequately represent the nature of its behavior at various stages of the mooring operation. The models were used in model tests of the ship's maneuvering at the first and second stages of mooring by controlling it by deviations from a given trajectory using the ship's propulsion and steering complex. A container ship of the ARCTIC CONTAINER SHIP ACS 650 project was chosen as an object for the research. The results of the model experiments performed are presented in this article.

**Key words:** mooring operation, ship motion model, set point, set line, deviation control.