

5. Дементей В.П., Леткина Н.Ю., Носков В.П., Цариченко С.Г. Интеллектуализация мобильных пожарно-спасательных роботизированных комплексов // Труды XXI Международной научно-технической конференции «Экстремальная робототехника». – СПб.: Изд-во «Политехника-сервис», 2010. – С. 40-46.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Г.О. Котиев.

Лапшов Владимир Сергеевич – Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана; e-mail: lapvs@rambler.ru; 105005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, 5; тел.: 89262561537; НИИ Специального машиностроения; зав. сектором.

Lapshov Vladimir Sergeevich – Bauman Moscow State Technical University; e-mail: noskov_mstu@mail.ru; 5, 2nd Baumanskaya street, Moscow, 105005, Russia; phone: +79262561537; Special robotics and mechatronics department, NIISM; sector head.

УДК 629.127

В.В. Костенко, Д.Н. Михайлов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭНЕРГОСИЛОВОЙ УСТАНОВКИ АВТОНОМНОГО НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА ПО ЗАДАННОЙ ДАЛЬНОСТИ ХОДА

Рассматривается задача определения требуемой энергоемкости аккумуляторной батареи (АБ) по заданной дальности хода автономного необитаемого подводного аппарата (АНПА). Предлагается разработанная авторами методика расчета, которая позволяет определить зависимости требуемой энергоемкости АБ от заданных параметров автономности аппарата, его скорости хода и гидродинамических характеристик, а также энергопотребления движительно-рулевого комплекса и бортового оборудования. Использование предложенного подхода к расчету автономности позволяет не только определить запас хода аппарата с известными характеристиками, но и сформулировать требования к системе энергообеспечения на ранних стадиях проектирования новых АНПА.

Автономный необитаемый подводный аппарат; дальность хода; энергоемкость автономного источника питания; скорость экономного хода.

V.V. Kostenko, D.N. Mikhailov

DETERMINATION OF PARAMETERS AUV'S POWER PLANT ON THE SET OF LONG CRUISING RANG

In the article the task of determination of demanded power consumption of storage battery (SB) on the set of long cruising range of autonomous unmanned underwater vehicle (AUV) is considered. The calculation procedure developed by the authors is offered. This procedure allows determining dependence of demanded power consumption of SB from the set parameters of autonomy of the vehicle, its course speed and hydrodynamic characteristics and also power consumption of propulsion and steering complex and onboard equipment. The deployment of the proposed approach to the autonomy calculation makes it possible to estimate the cruising range of the underwater vehicle with known specifications as well as to state the requirements to the power system at early stages of the new AUV designing.

Autonomous unmanned underwater vehicle; long cruising range; power consumption of the independent power supply; speed of an economical course.

Конструктивный облик АНПА в значительной степени определяется массогабаритами автономного источника питания, поэтому задача определения требований к его параметрам безусловно актуальна. Выбор параметров источника энергии СЭО зависит от заданной «автономности» АНПА, которая определяется продолжительностью T_a и дальностью D_a хода для заранее обусловленных значений

скорости движения V_x и потребляемой системами аппарата мощностью $N_{PЭА}$. Очевидна справедливость соотношения [1]

$$D_a = V_x \cdot T_a. \quad (1)$$

Время хода аппарата, определяемое запасом энергии $E_{аб}$ аккумуляторной батареи (АБ), будет:

$$T_a = \frac{E_{аб}}{N_a} = \frac{E_{аб}}{N_{PЭА} + N_{ДРК}}, \quad (2)$$

где $N_{PЭА}$ – средняя мощность, потребляемая бортовой аппаратурой без учета двигателей; $N_{ДРК}$ – электрическая мощность, затрачиваемая на движение, которая связана с буксировочной мощностью N_B соотношением

$$N_{ДРК} = \frac{N_B}{\eta_{зв} \cdot \eta_{эн}}, \quad (3)$$

где $\eta_{зв}$ – КПД гребного винта, $\eta_{эн}$ – КПД гребного электропривода. Для определения буксировочной мощности воспользуемся соотношением [2]

$$N_B = C_x \cdot \frac{\rho \cdot V_x^3}{2} \cdot U^{2/3}, \quad (4)$$

где C_x – коэффициентом сопротивления корпуса, ρ – плотность воды, U – водоизмещение аппарата. Используя выражения (1)–(4), получим формулу для вычисления требуемой для достижения заданной дальности хода энергоемкости АБ в Вт·ч

$$E_{аб} = \left(\frac{C_x \cdot \rho \cdot V_x^2 \cdot U^{2/3}}{2 \cdot \eta_{зв} \cdot \eta_{эн}} + \frac{N_{PЭА}}{V_x} \right) \cdot \frac{D_a}{3600}. \quad (5)$$

где 3600 – масштабный множитель для получения результата в Вт·ч.

Расчет проводился для диапазона скоростей хода $V_x=0.1 \div 5$ м/с и дальностей хода $D_a=84, 250$ км. В качестве определяющих параметров аппарата и его систем примем значения $C_x, \eta_{зв}, \eta_{эн}$ и $N_{PЭА}$, полученные в результате опытной эксплуатации АНПА разработки ИПМТ [3, 4, 5, 6]. Для расчета были приняты следующие исходные данные: $C_x=0,06, \rho=1025$ кг/м³, $U=7,9$ м³, $\eta_{зв}=0,70, \eta_{эн}=0,75, N_{PЭА}=100$ Вт.

Анализ графиков рис. 1 показывает наличие выраженного экстремума функции $E_{аб}=f(V_x)$. Из условия наличия экстремума этой функции было найдено значение скорости экономного хода

$$V_{хэ} = \sqrt[3]{\frac{N_{PЭА} \cdot \eta_{эн} \cdot \eta_{зв}}{C_x \cdot \rho \cdot U^{2/3}}}. \quad (6)$$

Безусловный интерес представляет максимально достижимая дальность хода аппарата при заданном значении энергоемкости АБ. Расчетное выражение получаем из (5), выразив его относительно D_a

$$D_a = \frac{E_{аб} \cdot 3.6}{\left(\frac{C_x \cdot \rho \cdot V_x^2 \cdot U^{2/3}}{2 \cdot \eta_{зв} \cdot \eta_{эн}} + \frac{N_{PЭА}}{V_x} \right)}, \quad (7)$$

где 3.6 – масштабный множитель для получения результата в км. Результаты этого расчета иллюстрируют графики рис. 2, полученные для $E_{аб}=80000, 100000, 120000$ Вт·ч.

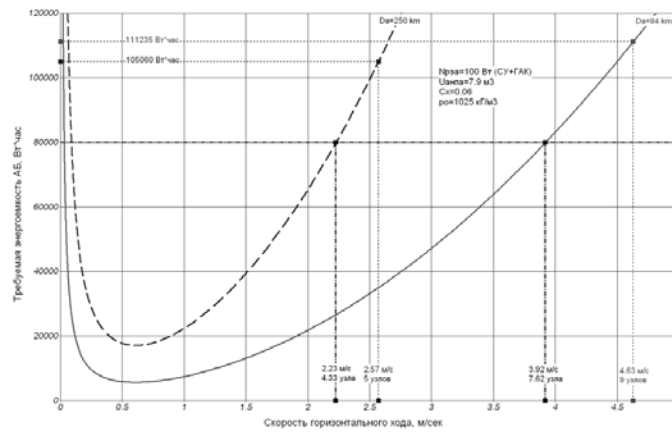


Рис. 1. Зависимость требуемой энергоёмкости АБ от скорости и дальности хода АНПА

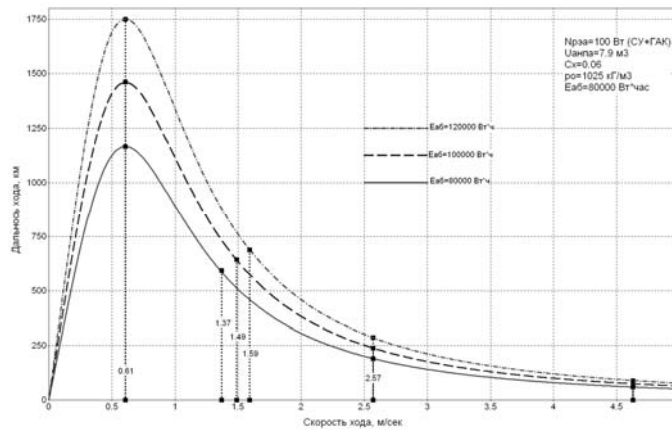


Рис. 2. Зависимость дальности хода от скорости движения АНПА и энергоёмкости АБ

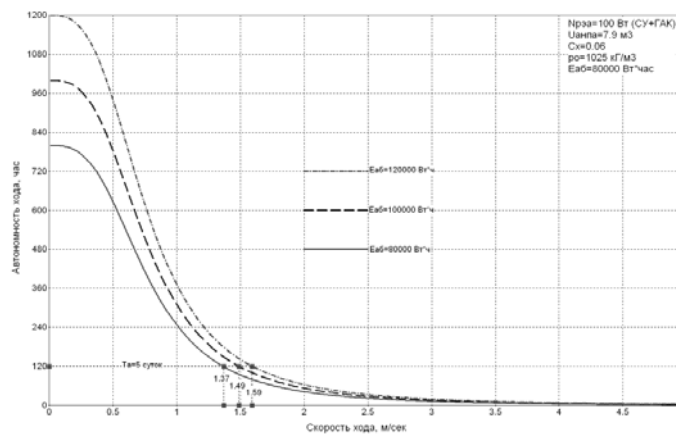


Рис. 3. Зависимость времени автономности АНПА от скорости движения и энергоёмкости АБ

Для определения времени максимальной автономности аппарата в часах T_a при заданной скорости хода V_x и энергоёмкости $E_{аб}$ используем очевидную формулу

$$T_a = \frac{D_a \cdot 1000}{V_x \cdot 3600} = \frac{E_{аб}}{\left(\frac{C_x \cdot \rho \cdot V_x^3 \cdot U^{2/3}}{2 \cdot \eta_{св} \cdot \eta_{эн}} + N_{РЭА} \right)} \quad (8)$$

Выводы:

1. Предложенная методика расчета позволяет определить требуемую энергоёмкость АБ по заданным параметрам автономности аппарата, его скорости хода и гидродинамическим характеристикам, а также энергопотреблению движительно-рулевого комплекса и бортового оборудования.
2. В результате анализа зависимости дальности хода от маршевой скорости выявлен ее экстремум, соответствующий скорости «экономного» хода. Для рассмотренного в статье примера эта скорость составляет 0.61 м/с.
3. Использование предложенного подхода к расчету автономности позволяет не только определить запас хода аппарата с известными характеристиками, но и сформулировать требования к системе энергообеспечения на ранних стадиях проектирования новых АНПА.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Автономные необитаемые подводные аппараты / Под общ. ред. акад. М.Д. Агеева. – Владивосток: Дальнаука, 2000. – 272 с.
2. Пантов Е.Н., Махин Н.Н., Шереметов Б.Б. Основы теории движения подводных аппаратов. – Л.: Судостроение, 1973. – 209 с.
3. Киселев Л.В., Медведев А.В. Сравнительный анализ динамических свойств АНПА различных проектов и конфигураций // Материалы 3-й науч.-техн. конф. «Технические проблемы освоения мирового океана», Владивосток, 22-25 сентября 2009. – Владивосток: Дальнаука, 2009. – С. 411-419.
4. Киселев Л.В., Медведев А.В. Сравнительный анализ и оптимизация динамических свойств автономных подводных роботов различных проектов и конфигураций // Подводные исследования и робототехника. – 2012. – № 1 (13). – С. 24-35.
5. Костенко В.В., Михайлов Д.Н., Найдено Н.А., Родькин Д.Н. Программно-аппаратный комплекс для нагрузочных и швартовых испытаний гребного электропривода подводных аппаратов // Материалы 3-й науч.-техн. конф. «Технические проблемы освоения мирового океана», Владивосток, 22-25 сентября 2009. – Владивосток: Дальнаука, 2009. – С. 78-83.
6. Костенко В.В., Михайлов Д.Н., Найдено Н.А., Родькин Д.Н. Опыт экспериментальных исследований гребного электропривода необитаемых подводных аппаратов // Материалы 4-й науч.-техн. конф. «Технические проблемы освоения мирового океана», Владивосток, 3-7 октября 2011. – Владивосток: Дальнаука, 2011. – С. 105-111.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Ю.К. Алексеев.

Костенко Владимир Владимирович – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки. Институт проблем морских технологий Дальневосточного отделения Российской академии наук; e-mail: kostenko@marine.febras.ru; 690950, г. Владивосток, ул. Суханова, 5а; тел.: 84232432578; к.т.н.; лаборатория исполнительных устройств и систем телеуправления; зав. лабораторией.

Михайлов Денис Николаевич – e-mail: denmih@marine.febras.ru; лаборатория навигации и обработки сенсорной информации; инженер.

Kostenko Vladimir Vladimirovich – Institute of Marine Technology Problems, Far Eastern Branch Russian Academy of Science; e-mail: kostenko@marine.febras.ru; 5a, Sukhanova street, Vladivostok, 690950, Russia; phone: +74232432578; cand. of eng. sc.; laboratory actuating devices and remote control systems; laboratory head.

Mikhailov Denis Nikolaevich – e-mail: denmih@marine.febras.ru; laboratory of navigation and processing of sensory information; the engineer.