

04, декабрь 2019

УДК 62-835

Определение ёмкости литий-ионных аккумуляторных батарей автономного необитаемого подводного аппарата

*Сербин Г.И., студент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Подводные роботы и аппараты»
serbin.grigory@gmail.com*

*Научный руководитель: Мецзякова Р.И., ст. преподаватель
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Подводные роботы и аппараты»*

Аннотация: Рассматривается задача определения требуемой емкости литий-ионной аккумуляторной батареи (ЛИАБ) в зависимости от заданной дальности хода или времени выполнения миссии автономного необитаемого подводного аппарата (АНПА). Предлагается методика расчета, которая позволяет определить зависимость емкости ЛИАБ от требуемой дальности хода, времени выполнения миссии, гидродинамических характеристик, энергопотребления бортовой аппаратуры и движительно-рулевого комплекса (ДРК), а также параметров ЛИАБ.

Ключевые слова: дальность хода (cruising range), емкость (capacity), миссия (mission), автономный необитаемый подводный аппарат (autonomous underwater vehicle), литий-ионная аккумуляторная батарея (lithium-ion battery).

Технические характеристики АНПА во многом определяются массогабаритными параметрами автономного источника питания, поэтому его выбор требует тщательной проработки. Выбор параметров ЛИАБ зависит от энергопотребления бортовой аппаратуры, ДРК, а также времени выполнения миссии:

$$E_{\text{ЛИАБ}} = (N_{\text{БА}} + N_{\text{ДРК}}) \cdot T_{\text{М}}, \quad (1)$$

где $E_{\text{ЛИАБ}}$ – запас энергии аккумуляторной батареи; $N_{\text{БА}}$ – мощность, потребляемая бортовой аппаратурой; $N_{\text{ДРК}}$ – мощность, потребляемая движительно-рулевым комплексом; $T_{\text{М}}$ – время выполнения миссии.

В свою очередь $T_{\text{М}}$ связано с дальностью хода и скоростью АНПА следующим соотношением:

$$T_M = \frac{D_M}{V_M}, \quad (2)$$

где D_M – дальность хода АНПА; V_M – скорость хода АНПА.

Связь $N_{ДРК}$ и буксировочной мощности N_B выражается соотношением [1]:

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

где $\eta_{ГВ}$ и $\eta_{ЭП}$ – коэффициент полезного действия гребного винта и электропривода соответственно. Для определения буксировочной мощности воспользуемся соотношением [2]:

$$N_B = C_X \cdot \frac{\rho \cdot V_X^3}{2} \cdot S, \quad (4)$$

где C_X – коэффициент лобового сопротивления корпуса, ρ – плотность воды, S – площадь поперечного сечения АНПА.

Получим формулу для вычисления требуемой емкости ЛИАБ в $Bm \cdot ч$, используя формулы (1) – (4):

$$E_{ЛИАБ} = \left[N_{БА} + \frac{C_X \cdot \rho \cdot V_X^3 \cdot S}{2 \cdot \eta_{ГВ} \cdot \eta_{ЭП}} \right] \cdot \frac{D_M}{V_M \cdot 3600}, \quad (5)$$

где 3600 – масштабный коэффициент для получения $E_{ЛИАБ}$ в $Bm \cdot ч$.

Так же необходимо учесть, что в процессе эксплуатации ёмкость ЛИАБ меняется. Она зависит от следующих факторов: циклирование, хранение, глубина разряда, температура эксплуатации. Наиболее существенное воздействие оказывает глубина разряда [3]. Чем она больше, тем меньше остаточное количество циклов заряда до уменьшения емкости ЛИАБ. Обычно ресурс коммерческих ЛИАБ до снижения разрядной емкости на 20% составляет 500 – 1000 циклов [2].

Поэтому введем коэффициент $K_{ЛИАБ}$, который будет учитывать изменение емкости батареи. Тогда формула (5) примет вид:

$$E_{ЛИАБ} = K_{ЛИАБ} \cdot \left[N_{БА} + \frac{C_X \cdot \rho \cdot V_X^3 \cdot S}{2 \cdot \eta_{ГВ} \cdot \eta_{ЭП}} \right] \cdot \frac{D_M}{V_M \cdot 3600}.$$

Произведем расчет для диапазона скоростей $V_M = 0 \div 5 м / с$ и дальности хода $D_M = 50 км$. Для параметров аппарата примем следующие значения: $C_X = 0.22$, $\eta_{ГВ} = 0.70$, $\eta_{ЭП} = 0.75$, $N_{БА} = 50 Вт$, $S = 0.0314 м^2$, $\rho = 1025 кг / м^3$, $K_{ЛИАБ} = 1$.

Построим график $E_{ЛИАБ} = f(V_M)$ зависимости емкости ЛИАБ от скорости аппарата (рисунок 1).

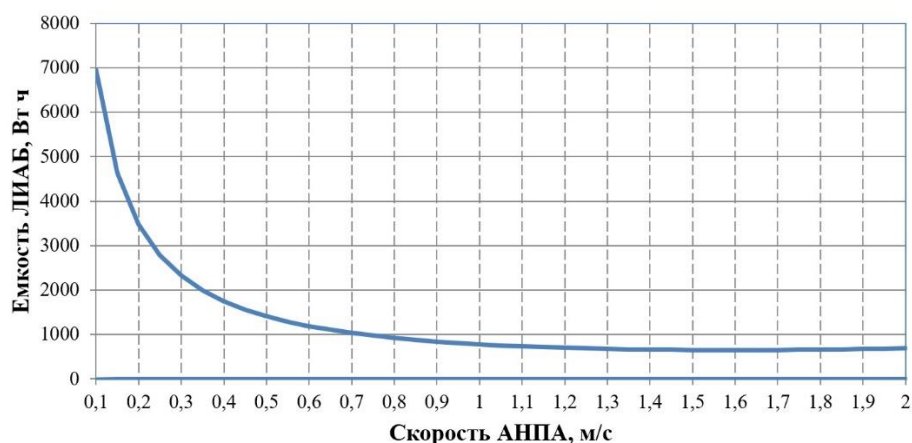


Рис.1. Емкость ЛИАБ в зависимости от скорости аппарата

Анализ графика показывает наличие экстремума функции $E_{\text{ЛИАБ}} = f(V_M)$. Из условия наличия экстремума этой функции найдем оптимальную скорость, при которой требуемая емкость ЛИАБ минимальна.

$$V_{\text{opt}} = \sqrt[3]{\frac{N_{\text{БА}} \cdot \eta_{\text{ГВ}} \cdot \eta_{\text{ЭП}}}{C_X \cdot \rho \cdot S}} = 1.55 \text{ м / с.}$$

Также в случае, если известна максимальная емкость ЛИАБ, при которой массогабаритные характеристики ЛИАБ будут удовлетворять техническому заданию, то можно получить зависимость дальности хода аппарата от скорости:

$$D_M = \frac{E_{\text{ЛИАБ}} \cdot 3.6}{K_{\text{ЛИАБ}} \cdot \left[\frac{N_{\text{БА}}}{V_X} + \frac{C_X \cdot \rho \cdot V_X^2 \cdot S}{2 \cdot \eta_{\text{ГВ}} \cdot \eta_{\text{ЭП}}} \right]},$$

где 3.6 – масштабный коэффициент, чтобы получить результат в километрах.

Покажем результаты расчета на графике при заданной емкости ЛИАБ 840 Вт ч (рисунок 2).

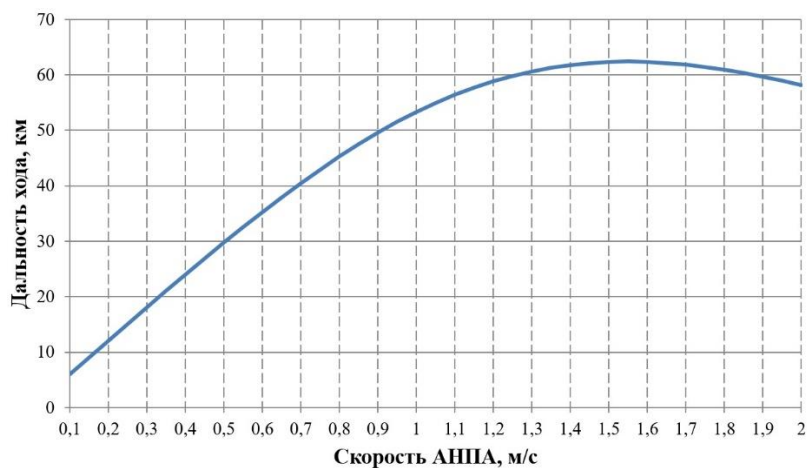


Рис 2. Зависимость дальности хода от скорости АНПА

Для определения времени автономной работы АНПА используем формулу:

$$T_M = \frac{D_M}{V_M} = \frac{E_{\text{ЛИАБ}}}{K_{\text{ЛИАБ}} \cdot \left[N_{\text{БА}} + \frac{C_X \cdot \rho \cdot V_X^3 \cdot S}{2 \cdot \eta_{\text{ГВ}} \cdot \eta_{\text{ЭП}}} \right]}$$

При заданной емкости ЛИАБ 840 Вт ч получим график (рисунок 3).

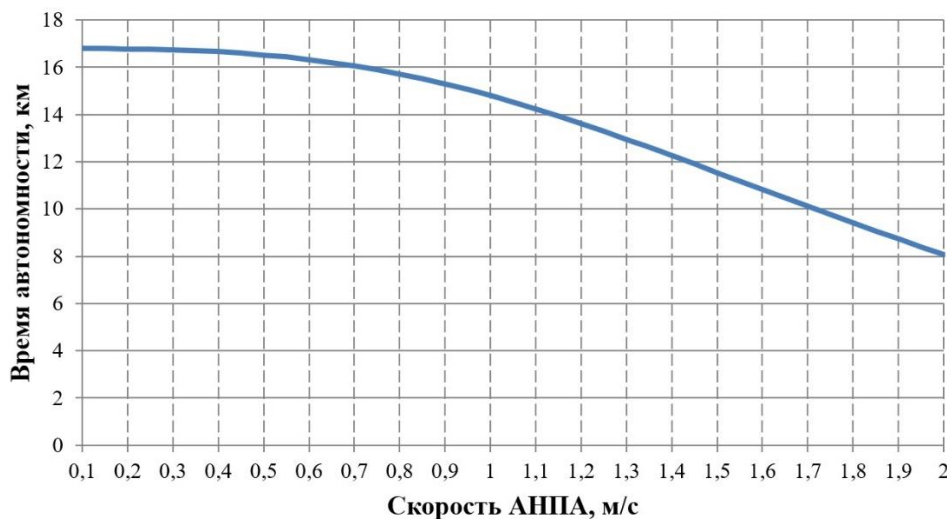


Рис. 3. Зависимость времени автономной работы АНПА от скорости хода

При заданной емкости ЛИАБ время автономности составляет порядка 11 часов.

Заключение

Получена методика расчета, которая позволяет определить емкость литий-ионной аккумуляторной батареи по заданным параметрам аппарата, таким как: скорость и дальность хода, гидродинамические и массогабаритные характеристики. А также позволяет определить дальность хода и оптимальную скорость аппарата с известными характеристиками.

Список литературы

- [1]. Пантов Е.Н., Махин Н.Н., Шереметов Б.Б. Основы теории движения подводных аппаратов. Л.: Судостроение, 1973. 209 с.
- [2]. Таганова А.А., Бубнов Ю.И., Орлов С.Б. Герметичные химические источники тока: Элементы и аккумуляторы. Оборудование для испытаний и эксплуатации: Справочник. СПб.: ХИМИЗДАТ, 2005. 264 с.
- [3]. Капкаев Т.Ш. Разработка системы контроля и управления литий-ионной аккумуляторной батареи для АНПА // Молодежный научно-технический вестник. 2014. № 7. Режим доступа: <http://ainsnt.ru/doc/725012.html> (дата обращения 10.05.2019).