

## ЛАБОРАТОРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСТОЧНИКА ТОКА С ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ЯЧЕЙКОЙ, РАСПОЛОЖЕННОЙ ЗА ПРЕДЕЛАМИ ПРОЧНОГО КОРПУСА ПРИБОРА

**Гонтарев С.В.**

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, Москва,  
Нахимовский проспект, д. 36, e-mail: [svg@ocean.ru](mailto:svg@ocean.ru)*

Статья поступила в редакцию 20.11.2018, одобрена к печати 21.11.2019

В статье предложена конструкция источника питания, использующая в качестве источника тока электрохимическую ячейку, расположенную за пределами прочного корпуса прибора. При этом качестве одного из электродов используется корпус прибора. Практически проверена возможность использования для питания приборов источника с морской водой в качестве электролита. Разработанный источник питания полностью безопасен при транспортировке любым видом транспорта в составе приборов. Конструкция не требует дополнительного обслуживания прибора в процессе хранения, транспортировки и измерений. Источник позволяет уменьшить габариты, снизить стоимость и повысить удобство эксплуатации и надежность работы морских приборов.

**Ключевые слова:** Морские приборы, источник питания, безопасность транспортировки, устойчивость к высоким давлениям

### **Введение**

Цикл проведения измерений морскими приборами включает их транспортировку к месту проведения измерений. При этом авиационный транспорт является наиболее оперативным, а иногда и единственным средством транспортировки. При перевозке приборов авиационным транспортом существуют ограничения на провоз химических источников тока (Правила перевозки..., 2018). Источники тока большой емкости транспортируются авиационным транспортом по категории опасных грузов, что создает сложности с транспортировкой приборов в целом. Питание морских исследовательских приборов осуществляется от гальванических элементов или аккумуляторов, устанавливаемых внутри прочного корпуса прибора. Изготовители элементов питания не гарантируют их работоспособность в условиях, выходящих за заданные изготовителем пределы. Приборы, предназначенные для длительных постановок, требуют большой емкости источника питания и, соответственно, прочный корпус большого объема. Как правило, транспортировка приборов выполняется без источников тока. Установка элементов питания производится по завершению процесса транспортировки. При этом отсутствует возможность проверки реальной емкости устанавливаемых элементов питания и подбора элементов с одинаковой емкостью, что может приводить к отказу прибора в процессе

проведения измерений, а также требует использования элементов со значительным запасом по емкости. Установка элементов питания требует от исследователя наличия специальных знаний или присутствия специалиста в месте проведения работ. Вскрытие прочного корпуса прибора в полевых условиях снижает надежность его работы.

Отмеченные выше особенности эксплуатации явились основанием разработки источника, не имеющего ограничений при транспортировке в составе прибора и допускающего эксплуатацию в морской воде при повышенных внешних давлениях.

### Основная часть

Химический источник тока в общем случае состоит из двух электродов помещенных в раствор электролита. Наибольшую опасность в случае транспортировки представляет режим замыкания батареи большой емкости, сопровождающийся выделением большого количества тепловой энергии, разрушением корпуса, вытеканием электролита и возгоранием элемента питания. Безопасность элементов питания может быть достигнута удалением из элементов электролита. В этом случае он будет представлять систему из двух электродов и будет полностью безопасен. В качестве электролита предполагается использование морской воды. В настоящее время промышленностью выпускается целый ряд водоактивируемых источников питания (Водоактивируемые источники..., 2018). Водоактивируемые батареи используются в аппаратуре поиска и обнаружения морских объектов, навигации, радиосвязи, спасательных морских и речных средств, проблесковых огней, дымовых шашек, в аппаратуре для зондирования слоев атмосферы. Эти батареи предназначены также для использования в качестве источника энергии для питания осветительных устройств, которыми снабжаются спасательные жилеты, костюмы, плоты и другие средства для спасения людей, потерпевших аварию на воде. Изделие работоспособно в пресной или морской воде. Однако такие батареи рассчитаны на работу в течение ограниченного времени после активации. Наиболее близкой по конструкции является батарея ММ – 10 000 «Нептун» (НИАИ Источник...) с номинальной емкостью 10000 Ач, при напряжении 1.25 В и номинальном токе 1.5А. Батарея имеет массу 75 кг при габаритах 686×269×360 мм. Батарея предназначена для питания военно-морской техники, аппаратуры при проведении океанографических исследований и энергосиловых установок глубоководных аппаратов.

К недостаткам использования батарей для питания подводных измерительных приборов можно отнести отсутствие гарантий изготовителя работоспособности батарей при повышенных давлениях водной среды (за исключением ММ – 10 000 «Нептун») и необходимость утилизации отработанных батарей. Батарея «Нептун» имеет явно избыточные массо-габаритные и емкостные параметры. Для питания подводных измерительных приборов желательно иметь ряд оптимизированных по массо – габаритным и емкостным параметрам элементов питания, которые можно вписывать в конструкцию прибора. При этом желательно минимизировать массу транспортируемого оборудования.

В качестве прототипа для разработки химического источника тока для источника питания использована хорошо известная система протекторной защиты объектов, находящихся в морской воде. (Бибиков и др., 1971; Люблинский, Пирогов, 1987).

Протекторная защита – разновидность электрохимической защиты корпуса судна и его элементов от коррозии. Состоит в подключении защищаемого металла к металлу протектора. В качестве протектора используется электрод, изготовленный из металла, более электроотрицательного относительно защищаемого объекта. Для протекторов применяют сплавы на основе магния, алюминия, цинка, марганца и стали. Используемые в настоящее время для изготовления электродов сплавы удовлетворяют целому набору требований: высокий коэффициент полезного использования металла; низкая анодная поляризуемость и стабильность электрохимических характеристик во времени; предотвращение образования на поверхности протекторов продуктов анодного растворения и поверхностных пленок, что позволяет обеспечить длительную стабильную работу защиты. Протектор устанавливается на наружной поверхности корпуса. Различают короткозамкнутую и регулируемую систему защиты. У короткозамкнутой протекторной защиты протекторы приваривают к защищаемой конструкции. Обычно она применяется для защиты подводной части стальных корпусов крупнотоннажных судов. Отключаемая регулируемая защита используется для защиты алюминиевых корпусов. В настоящее время система протекторной защиты хорошо отработана, обеспечена материалом и технологией изготовления электродов, что исключает возникновение сложностей при изготовлении и эксплуатации элементов питания построенных на ее основе.

Из двух описанных вариантов при нашей разработке использована схема регулируемой протекторной защиты. Данная схема легла в основу электрохимической ячейки источника питания.

### **Практическая реализация**

Для проверки работоспособности описанного устройства был изготовлен макет источника питания и проведены его лабораторные испытания. Структурная схема источника питания представлена на рис. 1.

Источник питания состоит из химического источника тока, образованного двумя электродами (корпусом прибора активным защитным электродом) и морской водой, контроллером заряда литиевого аккумулятора, литиевым аккумулятором, системой защиты аккумулятора, управляемого выходного стабилизатора и схемы управления. Для обеспечения работы в режиме пиковых нагрузок источник питания снабжен буферным накопителем. В зависимости от характеристик прибора в качестве буферного накопителя возможно использование литиевого аккумулятора или конденсатора большой емкости.

В макете использована микросхема MAX17710 (Описание MAX17710). Электрическая схема макета представлена на рис. 2.

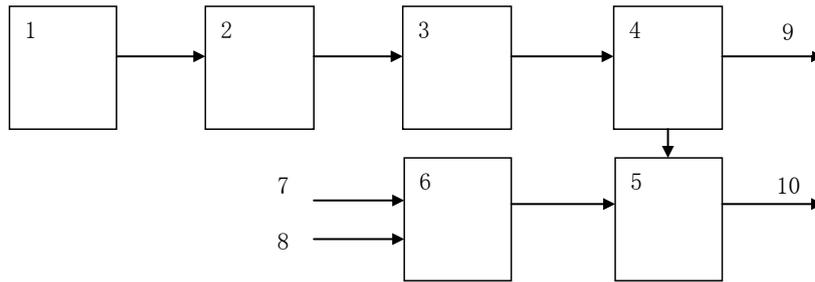


Рис. 1. Структурная схема источника питания. 1 – электрохимический источник тока, 2 – повышающий преобразователь с системой контроля заряда аккумулятора, 3 – литиевый аккумулятор или твердотельный накопитель энергии, 4 – система защиты аккумулятора, 5 – управляемый стабилизатор напряжения, 6 – система управления включением стабилизатора и выбором напряжения стабилизации. 7, 8 – управляющие сигналы, 9 – выходное нестабилизированное напряжение, 10 – выходное стабилизированное напряжение. Стрелками показаны электрические связи.

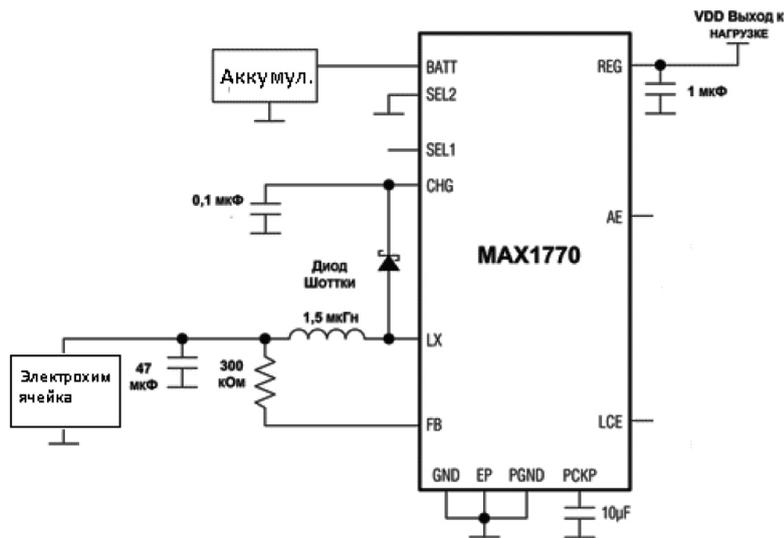


Рис. 2. Электрическая схема источника питания.

В качестве химического источника тока преобразователя использовалась электрохимическая ячейка, образованная двумя электродами и помещенная в сосуд с раствором электролита. Активным электродом служит магниевый электрод цилиндрической формы. Электрод имеет диаметр 21 мм и высоту 230 мм. Площадь боковой поверхности составляет  $\approx 151 \text{ см}^2$ . Вторым электродом, имитирующим прочный корпус прибора, является отрезок трубы из нержавеющей стали X18H10T с внутренним диаметром 24 мм и высотой 230 мм. Площадь внутренней поверхности электрода составляет  $\approx 173 \text{ см}^2$ . Электроды в ячейке располагались коаксиально. В качестве электролита использовался раствор поваренной соли с концентрацией 20 и 30 граммов на литр воды.

Зависимости напряжения на электрохимической ячейке и отдаваемой ячейкой мощности от тока нагрузки приведены на рис. 3. Характеристики получены для неподвижного электролита.

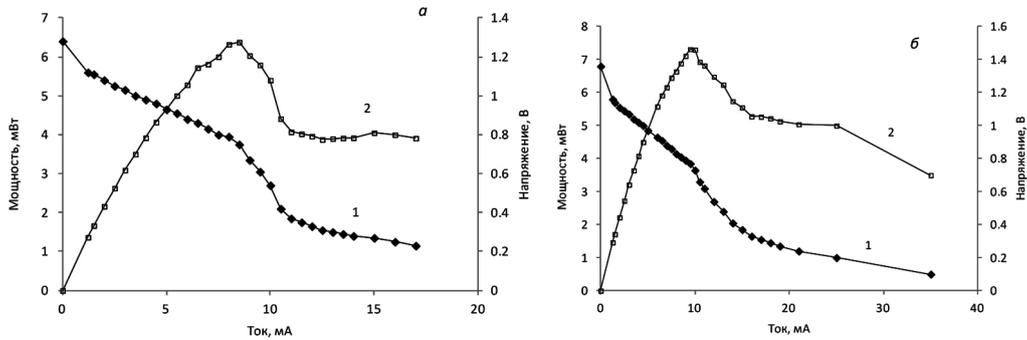


Рис. 3. Нагрузочные характеристики электрохимической ячейки для концентраций соли 20 г/литр (а) и 30 г/литр (б): 1 – зависимость напряжения на ячейке от тока нагрузки, 2 – зависимость отдаваемой ячейкой мощности от тока нагрузки.

Как видно из рис. 3, в обоих случаях напряжение ячейки меньше 1.4 Вольта, что недостаточно для питания электронных устройств, имеющих стандартное напряжения питания 1.8/ 2.3/ 3.3 Вольта. Напряжение ячейки сильно зависит от тока нагрузки и от концентрации электролита, что не позволяет ячейке обеспечить необходимую для питания электроники стабильность напряжения. Максимальная отдаваемая ячейкой в нагрузку мощность составляет примерно 6.5 милливатт. Кривая отдаваемой мощности имеет явно выраженный максимум и достаточно быстрый спад после прохождения максимума. Ячейка не способна обеспечить пиковые токи потребления прибора. Для устранения этого недостатка в состав источника питания введен буферный аккумулятор.

В таблице 1 представлена оценка отдаваемой мощности в зависимости от площади корпуса прибора. Данные носят оценочный характер. Для получения более достоверных результатов планируется проведение натурных испытаний в морской среде.

Таблица 1. Зависимость мощности ячейки от площади поверхности корпуса прибора

Площадь электрода (см <sup>2</sup> )	200	500	1000	2000	5000	10000	20000
Отдаваемая мощность (милливатт)	8.7	21.7	43.3	86.7	216.7	433.3	866.7

Полученные оценки отдаваемой мощности позволяют обеспечить питание в течение длительного времени подводной сейсмической станции на базе широко распространенного микропроцессора STM32 (Продукция компании STM32...).

Электронная часть источника питания реализована на микросхеме MAX17710. Микросхема реализует функции блоков 2, 4, 5, 6 структурной схемы и является

единственной в источнике питания. Функционирование источника питания соответствует работе интегральной микросхемы – (Описание MAX17710) и состоит из трех преобразователей, наборов цепей защиты и управления, позволяющих работать с маломощными источниками энергии мощностью от 1 мВт до 100 мВт, с входными напряжениями от десятых долей до единиц вольт. Микросхема выполняет заряд аккумуляторной батареи (литиевой, твердотельной и так далее), имеет два типа выходных сигналов: регулируемый и нерегулируемый. Регулируемый сигнал формируется встроенным линейным стабилизатором с программируемым напряжением 1.8/ 2.3/ 3.3 В и выходным током 50 мА. Включение и управление работой выходного линейного регулятора производится с помощью датчиков и микроконтроллера. При этом датчик (детектор событий) может включить выходной стабилизатор, а микроконтроллер определить режим работы.

Для проверки возможностей источника питания было проведено его тестирование при различных величинах нагрузки:

1. В отсутствие буферного аккумулятора стабильная работа отмечалась до момента падения напряжения на электрохимической ячейке ниже порога выключения повышающего преобразователя микросхемы (~ 0.45 Вольта). Повторное включение происходило после уменьшения тока нагрузки.

2. При подключении не полностью заряженного литиевого аккумулятора повышающий преобразователь работал в прерывистом режиме до момента полного заряда аккумулятора. При этом обеспечивались стабильные напряжения на выходе источника питания.

3. При подключении полностью заряженного литиевого аккумулятора повышающий преобразователь работал в непрерывном режиме, обеспечивались стабильные напряжения на выходе источника питания.

В случаях 2 и 3 отдаваемый в нагрузку ток ограничивался системой защиты вторичных стабилизаторов микросхемы. В целом источник обеспечивал стабильное питание нагрузки в широком диапазоне изменений напряжения электрохимической ячейки ~0.45–1.4 В.

По результатам испытаний данный источник способен обеспечивать полноценное питание морских исследовательских приборов. Площадь и конфигурация активного электрода выбираются исходя из характеристик потребления конкретного прибора, его конструкции и необходимого времени его работы, что позволяет легко интегрировать источник питания в конструкцию различных приборов. Возможно также использование данного устройства для питания автономных станций, устанавливаемых на дрейфующих льдах (Писарев, 2012, 2019).

Использование данного устройства для питания дрейфующих станций позволяет решить проблему воздействия отрицательных температур воздуха на элементы питания. При использовании стандартных элементов питания необходимо обеспечить их защиту от воздействия низких температур. С этой целью их заглубляют в лед. При подледном расположении разработанного источника питания гарантируется его защита от воздействия низких температур воздуха. Возможно исполнение источника в составе прибора или в виде отдельного устройства.

Конструкция макета разрабатываемого источника питания в перспективе позволит осуществлять его безопасную транспортировку любым видом транспорта, упростить эксплуатацию приборов, уменьшить габариты и стоимость прочного корпуса прибора и повысить надежность работы дрейфующих станций.

### **Выводы**

Вынос электрохимического источника тока за пределы прочного корпуса прибора и использование в нем окружающей морской воды позволяют получить следующие преимущества:

Обеспечивается устойчивость источника питания к воздействию высоких давлений морской среды. Предельная глубина погружения определяется устойчивостью к давлению прочного корпуса прибора.

В отсутствие электролита источник питания полностью безопасен при любых видах транспортировки.

Использование в качестве второго электрода прочного корпуса прибора и морской воды в качестве электролита позволяет уменьшить массу прибора в целом и снизить его стоимость.

В процессе хранения вне морской воды не происходит расходование емкости гальванического элемента источника питания. Прибор автоматически выключается при извлечении его из воды.

Источник снаряжается и испытывается в составе прибора в лабораторных условиях. Отсутствует необходимость вскрытия прибора для установки источников тока в полевых условиях. Также отсутствует необходимость сопровождения приборов специалистом для выполнения этой операции. Отмеченная особенность позволяет упростить эксплуатацию прибора и повысить надежность его работы. Повышение надежности работы особенно важно для длительных постановок приборов.

Отсутствует возможность вытекания электролита из гальванических элементов внутри прочного корпуса и возможность его воздействия на электронику, что также повышает надежность работы прибора.

Появляется возможность точного определения емкости источника питания путем взвешивания активного электрода или всего прибора с электродом при известной массе прибора без электрода. Точное знание остаточной емкости позволяет рассчитать время безотказной работы прибора и уменьшить избыточную емкость источника питания, его вес и габариты.

Использование единственной электрохимической ячейки снимает проблему несогласованности емкостей элементов питания.

Работа выполнена в рамках государственного задания (тема № 0149-2019-0005).

## Литература

- Бибииков Н.Н., Люблинский Е.Я., Поварова Л.В. Электрохимическая защита морских судов от коррозии. Л.: Судостроение, 1971. 262 с.
- Водоактивируемые источники питания (ОАО Энергия г. Елец). <http://centr.prom-rus.com/cat-elektrotehnicheskaya-prodykciya/istochniki-pitaniya-zaryadnie-ystroistva/20121/> (дата обращения: 10.10.2019).
- Водоактивируемые источники питания (НИАИ Источник г. Санкт-Петербург) <http://niai.ru/catalog.php?id=11> (дата обращения: 10.10.2019).
- Коррозия и защита судов / Справочник под редакцией Люблинского Е.Я., Пирогова В.Д. Л.: Судостроение, 1987. 376 с.
- Описание MAX17710 <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX17710.pdf> (дата обращения: 10.10.2019).
- Правила перевозки опасных грузов. Русская версия – IATA 59-е издание, 2018.
- Писарев С.В. Опыт применения дрейфующих устройств для исследования водной толщи и ледового покрова Арктики в начале XXI века // Арктика экология и экономика. 2012. № 4 (8). С. 66–75.
- Писарев С.В. Современные дрейфующие роботизированные устройства для контактных измерений физических характеристик Арктического бассейна // Океанологические исследования. 2019. Т. 47. № 4. С. 5–31.
- Продукция компании STMicroelectronics [https://www.st.com/content/st\\_com/en/products/microcontrollers/stm32-32-bit-arm-cortex-mcus/stm32-mainstream-mcus/stm32f3-series.html?querycriteria=productId=SS1576](https://www.st.com/content/st_com/en/products/microcontrollers/stm32-32-bit-arm-cortex-mcus/stm32-mainstream-mcus/stm32f3-series.html?querycriteria=productId=SS1576) (дата обращения: 10.10.2019).

## LABORATORY SIMULATION OF A CURRENT SOURCE WITH AN ELECTROCHEMICAL CELL LOCATED OUTSIDE THE ROBUST HOUSING OF THE DEVICE

Gontarev S.V.

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,  
36 Nahimovskiy prospekt, Moscow, 117997, Russia, e-mail: [svg@ocean.ru](mailto:svg@ocean.ru)  
Submitted 20.11.2018, accepted 21.11.2019*

The article proposes the design of the power supply, using as a current source electrochemical cell located outside the robust housing of the device. In this case, the device body can be used as one of the electrodes. The possibility of using a source of seawater as an electrolyte for powering devices has been practically tested.

The developed power supply is completely safe during transportation by any mode of transport as part of the devices. The design does not require additional maintenance of the device during storage, transportation and measurements. The source allows to reduce the size, reduce the cost and improve the usability and reliability of marine devices.

**Keyword:** Marine instruments, power supply, transport safety, high pressure resistance

## References

- Bibikov N.N., Lublinsky E.Ya., and Povarova L.V.* Jelektrohimicheskaja zashhita morskikh sudov ot korrozii, (Electrochemical protection of ships against corrosion). Leningrad: Sudostroenie, 1971, 262 p.
- Korrozija i zashhita sudov, Spravochnik Eds.: Ljublinskogo E.Ja., Pirogova V.D., Leningrad: Sudostroenie, 1987, 376 p.
- Opisanie MAX17710 (MAX17710 Datasheet) <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX17710.pdf>.
- Pisarev S.V.* Experience of using automatic drifting devices to study the water column and ice cover in the Arctic at the beginning of XXI century. Arctic ecology and economics, 2012, No. 4 (8). pp. 66–75.
- Pisarev S.V.* Modern drifting robotized devices for contact measurements of physical characteristics of the Arctic basin. Journal of Oceanological Research, 2019, Vol. 47, No. 4, pp. 5–31
- Pravila perevozki opasnyh грузов. Russkaja versija – IATA 59-e izdanie (2018) (Dangerous Goods Regulations IATA Edition 59th (2018)).
- Produkcija kompanii STMicroelectronics (Company STMicroelectronics product) [https://www.st.com/content/st\\_com/en/products/microcontrollers/stm32-32-bit-arm-cortex-mcus/stm32-mainstream-mcus/stm32f3-series.html?querycriteria=productId=SS1576](https://www.st.com/content/st_com/en/products/microcontrollers/stm32-32-bit-arm-cortex-mcus/stm32-mainstream-mcus/stm32f3-series.html?querycriteria=productId=SS1576).
- Water-activated power sources (Energy Elets OJSC) <http://centr.prom-rus.com/cat-elektrotehnicheskaya-prodykciya/istochniki-pitaniya-zaryadnie-ystroistva/20121/> (Last access: 10.10.2019).
- Water-activated power sources (NIAI Source St. Petersburg) (<http://niai.ru/catalog.php?id=11>) (Last access: 10.10.2019).