

Краткий аналитический обзор существующих способов оценки емкости ХИТ и приборов, реализующих эти способы

Термины и определения:

Ач – Ампер час.

1 Ач = 3600 Кулон.

ХИТ – Химический источник тока:

- гальванические элементы – первичные ХИТ;
- аккумуляторы – вторичные ХИТ.

Емкость ХИТ - физическая величина, определяющая количество электрической энергии, которое выделяет ХИТ при определенных условиях разряда, выраженное в Ач или Кулонах.

Номинальная емкость ХИТ – емкость N-ти часового режима разряда до конечного напряжения при $20 \pm 5^\circ\text{C}$ (значение нормируется производителем ХИТ).

Доступная емкость ХИТ – максимальное количество электрической энергии, выраженное в Ач или Кулонах, которое ХИТ отдает при разряде до выбранного конечного напряжения. Определяется после цикла: Заряд – разряд до U_k – Заряд (Лаврус, «Энергетика сегодня» стр. 35).

Остаточная емкость ХИТ – значение количества электрической энергии, выраженное в Ач или Кулонах, которое ХИТ отдает при разряде до выбранного конечного напряжения в любом текущем состоянии ХИТ.

Конечное напряжение ХИТ – значение напряжения, ниже которого разряжать ХИТ не рекомендуется (значение нормируется производителем ХИТ).

Измерение – процесс нахождения значения физической величины с помощью специальных технических средств.

Косвенное измерение – процесс нахождения значения физической величины по результатам измерений других физических величин.

Единство измерения – состояние конкретного измерения, при котором его результат выражен в узаконенных единицах и погрешность измерения описана и известна с заданной вероятностью.

Точность измерения характеризует близость результатов измерения к истинному значению измеряемой физической величины.

Введение

Химические источники тока (ХИТ) давно и прочно вошли в повседневную жизнь человечества. Открытие аккумулярующего эффекта относится к числу важнейших и значительнейших изобретений в области электротехники.

Более 200 лет существует на свете «вольтов столб» - первый химический источник тока и около 150 лет (1859 г.) прошло со дня создания первого свинцового аккумулятора.

В 1800 году Алессандро Вольта - итальянский физик и физиолог, один из основоположников учения об электричестве, поместил пластины из цинка и меди в кислоту, чтобы получить непрерывный электрический ток. Вольта назвал свое изобретение «электрический орган». Это был первый химический источник тока на медно-цинковой паре электродов («вольтов столб» или «батарея Вольта»).

В 1802 году немецкий физик Иоганн Вильгельм Риттер открыл, что две медные пластины, опущенные в кислоту и соединенные с гальванической батареей, заряжаются и потом их можно в течение короткого времени использовать как постоянный источник тока. Это явление позже изучалось многими другими учеными, но создание аккумулятора отодвинулось до 1859 г., когда французский инженер Гастон Планте случайно повторил

открытие немецкого военного врача Вильгельма Зинстедена и построил первый в истории свинцовый аккумулятор. Открытие заключалось в следующем: при пропускании тока через свинцовые электроды, погруженные в разведенную серную кислоту, положительный электрод покрывался двуокисью свинца PbO_2 , в то время как отрицательный электрод не подвергался никаким изменениям; если такой элемент замыкали потом накоротко, прекратив пропускание через него тока от постоянного источника, то в нем появлялся постоянный ток, который обнаруживался до тех пор, пока вся двуокись свинца не растворялась в кислоте.



Этим было положено начало аккумуляторной техники.

Существенным недостатком первых аккумуляторов было то, что они очень быстро разряжались. На протяжении последующих лет, вплоть до начала XX века, совершенствованием аккумуляторов занимались многие ученые. В настоящее время, в связи с появлением современных, более легких и прочных синтетических материалов, в конструкции свинцово-кислотных аккумуляторов произошли и другие изменения, повлиявшие на их параметры и срок службы.

Но, несмотря на столь длительную историю существования, лишь некоторые параметры ХИТ можно измерить с достаточной точностью: **разность потенциалов** на электродах ХИТ или **протекающий ток** в электрической цепи при подключении нагрузки к нему.

К сожалению, **электрическую емкость химического источника тока ($Q_{\text{ХИТ}}$)** - наиболее важный и действительно значимый параметр, характеризующий его электрическую потенциальную энергию и возможность совершать определенную работу, на практике никто не измеряет.

Именно измерение емкости ХИТ - вот главная проблема на сегодняшний день!

В качестве примера попробуйте определить электрическую емкость обыкновенной бытовой «батарейки», приобретенной в магазине. Результат будет сомнителен даже в том случае, если имеется дата выпуска и изготовитель гарантирует «безотказность, надежность и отсутствие обслуживания» в течение указанного срока. Что же на самом деле представляет собой выпускаемый ХИТ с точки зрения его действительной емкости, можно только догадываться.

Известные и описанные способы определения емкости ХИТ:

1. Способ «Измерение времени разряда ХИТ при номинальной постоянной нагрузке»
2. Способ «Измерение напряжения под нагрузкой»
3. Способ «Отклик на тестовый сигнал»
4. Способ «Импульсный»
5. Способ «Импедансный»
6. Способ «Неизвестный»

Условно их можно разделить на две группы:

1. Способы, расходующие измеряемую величину (1, 2);
2. Способы, не расходующие (или расходующие незначительно) измеряемую величину (3, 4, 5).

С юридической точки зрения все рассуждения строятся от ЗАКОНА, которым является Способ 1 – «Измерение времени разряда ХИТ при номинальной постоянной нагрузке». Способ является косвенным и реализуется путем измерения двух других физических величин (тока и времени) и последующего расчета соответствующего значения емкости ХИТ (см. Термины и определения). Способ определен ГОСТ (конкретный на каждый тип ХИТ, например, ГОСТ959-02 – «БАТАРЕИ АККУМУЛЯТОРНЫЕ СВИНЦОВЫЕ СТАРТЕРНЫЕ ДЛЯ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ») и является, на сегодняшний день образцовым способом измерения данной физической величины. Это подтверждается наличием всех атрибутов способа измерения:

- *узаконенные единицы измерения;*
- *погрешность измерения описана и известна с заданной вероятностью* (см. Термины и определения).

С физической точки зрения **Способ 1** является однозначным, но длительным, трудоемким и отвечающим на вопрос прошедшего времени - «было N Ач». Именно по этой причине изобретаются другие способы измерения, которые менее трудоемки, занимают меньше времени, и что самое главное, отвечают на вопрос - «Есть N Ач».

Выводы:

- Есть ЗАКОН - образцовый способ измерения емкости ХИТ, но он не устраивает многих пользователей ХИТ (по разным причинам).
- Есть несколько других способов измерения (некоторые из них имеют патенты), которые устраивают, но не согласованы с ЗАКОНОМ. Именно по этой причине для них отсутствуют *описанная погрешность измерения, известная с заданной вероятностью*.

Следовательно, на сегодняшний день **оперативного** способа измерения физической величины - электрическая емкость ХИТ, отвечающего на вопрос, «Есть N Ач» - **не существует** (в официально доступных источниках информации не найдено).

Все способы (кроме **образцового**) могут быть использованы только лишь в качестве способов **оценки** емкости ХИТ, и на их основе могут быть построены индикаторы, сигнализаторы и тестеры любой сложности и направленности (что и происходит сегодня в приборостроении).

Но эти устройства не могут считаться измерительными!

1. Способ «Измерение времени разряда ХИТ при номинальной постоянной нагрузке»

Способ рекомендован ГОСТ и МЭК для всех типов аккумуляторов и гальванических элементов. Способ является на сегодняшний день образцовым (это ЗАКОН). Способ косвенный и реализуется путем измерения двух других физических величин – тока и времени - и последующего расчета соответствующего значения емкости ХИТ. Момент начала тестирования и определяет тип измеряемой емкости ХИТ.

Устройства, реализующие данный способ

Список устройств, реализующих этот способ, очень велик, поэтому рассматриваются наиболее известные:

- Для аккумуляторов с емкостью до 10Ач изготавливаются различные устройства, в которых используются преобразователи «ток – частота», «ток – цифра» и т.д. (микросхемы MAX1538, MAX471, DS2756 и др.).
- Устройства фирмы «Cadex» (Канада) (большое множество, в основном для АКБ до 10Ач);
- Устройства компании «АВАК» (Украина);
- некоторые другие.



Компания «АВАК» (Украина).
Устройство измерения емкости АКБ согласно ГОСТ 959-02



Компания «АВАК» (Украина).
Устройство тренировки и контроля АКБ



«ПРО_Электро» (Украина)
УТАБ – Устройство теста АБ



ООО «Мегарон» (Россия)
Устройство для разряда свинцово-кислотных 12В батарей ёмкостью до 300Ач и измерения их параметров



LaMantia (Канада)
Устройство теста АБ



ООО «Бустер СПб» (Россия)
Устройство зарядно-разрядное УЗР 15А-17В

Основные качества устройств и способа:

Положительные:

- является единственным способом, отражающим суть физической величины – электрическая емкость ХИТ;
- реализуют рекомендации ГОСТ и МЭК и являются образцовыми (это ЗАКОН);
- в зависимости от: - текущего состояния ХИТ, параметров окружающей среды, конечного напряжения и тока разряда, данным способом и устройствами можно определить любую необходимую емкость ХИТ (см. термины и определения).

Отрицательные:

- большое время измерения (для некоторых типов аккумуляторов - до трех суток);
- при массовом производстве возможен только выборочный контроль из-за длительности процесса измерения;
- практически полностью разряжает ХИТ, после чего требуется заряд;
- т.к. во всех устройствах данного типа ток разряда и время разряда фиксированы, то результатом таких измерений (с высокой точностью) может быть только емкость, соответствующая нормирующему режиму конкретного ХИТ. Для остальных ХИТ это значение является относительным, и его необходимо пересчитывать (при желании получить реальное значение емкости), зная нормирующий режим данного ХИТ. Особенно это касается «эффекта памяти». Ни одно устройство (поиск не дал результатов) такой функции не реализует;
- не пригоден для гальванических элементов (батарейки после таких измерений восстановлению не подлежат);
- сильная зависимость от технического состояния элементов коммутации (проводов, игл, зажимов и т.д.);
- значительные массогабаритные показатели;
- высокая цена (оправдано для изделий такого уровня).

2. Способ «Измерение напряжения под нагрузкой»

Измерение напряжения (падения напряжения, разницы между первым и вторым, и т.д.) на ХИТ при определенном значении сопротивления нагрузки. Способ косвенный и реализуется путем измерения нескольких физических величин (в зависимости от типа устройства реализующего данный способ).

Устройства, реализующие данный способ

Список устройств, реализующих этот способ, обширен. Некоторые из них приведены ниже:



Продавец – Фирма «Hung Chang» (Китай).
Батарейный тестер HB-207



Продавец - ОАО «АКБ Сервис» (Россия).
Тестер нагрузочный ТА-120



Производитель - Группа «Пауэр
Интернешнл» (Россия). Вилка
нагрузочная ВНА 200-12



Производитель - Фирма Electronic
Specialties (США). Батарейный тестер ES-
700

На самом деле под формулировку этого способа попадает большое количество аналогичных, немного отличающихся друг от друга способов. Например:

- выполнив дополнительные измерения и воспользовавшись формулой (например 1), можно определить коэффициент степени разряженности конкретного ХИТ;

$$K = \frac{E_{\max} - E}{U_n - U_{\min}} \quad \text{формула 1}$$

- выполнив дополнительные измерения и сняв у нового конкретного ХИТ характеристики зависимости напряжения разряда от тока разряда, при разных токах разряда, можно далее прогнозировать текущее состояние ХИТ. По данному способу самое большое количество оформленных изобретений: а.с. RU 2120158 от 21.02.02, SU 1783479 А от 28.12.92, US 5488284 А от 30.01.96, DE 3031931 А1 от 04.02.82, DE 3227522 А1 от 26.01.84
- и другие.

Также имеются более сложные устройства, реализующие данный способ. Кроме напряжения, измеряют ток зарядный, ток разрядный, температуру электролита и т.д.:



Производитель - «Odelco» (Италия).
Прибор измерения состояния батареи
Batt-Meter 2



Производитель - «Odelco» (Италия).
Прибор контроля системы батарей DCC 4000



Производитель - ООО «М-Электроникс Групп» (Россия).
Диагностический маршрутный компьютер «М15 Комфорт» (с функцией контроля состояния АКБ)

Основные качества устройств и способа:

Положительные:

- простота реализации;
- малое время оценки параметров ХИТ;
- удобный интерфейс (в основном это касается импортных образцов);
- небольшие массогабаритные показатели (зависят от режимов разряда).

Отрицательные:

- пригоден в качестве оценочного только для полностью заряженных ХИТ - оценка в любой момент времени состояния заряженности ХИТ по значению его напряжения при подключенной нагрузке вообще невозможна, так как напряжение сильно зависит от предыстории эксплуатации («эффект памяти» и т.д.);
- у сложных устройств большое количество измеряемых физических величин, и как следствие, количество датчиков, сложная конструкция, невысокая точность косвенного измерения результирующей измеряемой величины;
- сильная зависимость от правильности действий человека (субъективизм);
- сильная зависимость от технического состояния элементов коммутации (проводов, игл, зажимов и т.д.);
- сильная зависимость от текущего эксплуатационного состояния ХИТ (температура, время от ближайшего заряда, и т.д.);
- невозможность (или большая сложность) использования данного способа для тестирования ХИТ большой емкости и большого напряжения (габариты и мощность рассеивания);
- для массового производства ХИТ не пригоден (ы).

3. Способ «Отклик на тестовый сигнал»

Способ состоит в том, что заряженный аккумулятор реагирует (откликается) на импульсы тока различной формы. Так как внутреннее сопротивление ХИТ находится в диапазоне от единиц до десятков миллиОм (массово используемый ряд ХИТ), то для того, что бы получить отклик (изменение напряжения), достаточный для измерения с хорошей точностью, необходимо обеспечить значение тока не менее 1 А.

Форма импульсов, их полярность и длительность у каждого производителя своя. Может применяться как двухпроводная, так и четырехпроводная схема измерения.

Устройства, реализующие данный способ

Некоторые устройства, заслуживающие внимания:



Производитель - «ZTS» (Польша).
Батарейный тестер карманного формата



Производитель - «ANSMANN» (Германия).
Электронный тестер АКБ и гальванических элементов

Основные качества устройств и способа:

Положительные:

- относительная простота реализации;
- малое время оценки параметров ХИТ;
- удобный интерфейс (в основном это касается импортных образцов);
- универсальность использования;
- независимость от правильности действий человека;
- небольшие массогабаритные показатели (зависят от режимов разряда).

Отрицательные:

- пригоден в качестве оценочного только для полностью заряженных ХИТ;
- сильная зависимость от технического состояния элементов коммутации (проводов, игл, зажимов и т.д.);
- сильная зависимость от текущего эксплуатационного состояния ХИТ (температура, время от ближайшего заряда, и т.д.);
- невозможность (или, по крайней мере, большая сложность) использования данного способа для тестирования ХИТ большой емкости и большого напряжения (габариты и мощность рассеивания);
- разряжает ХИТ;
- для массового производства ХИТ не пригоден (ы).

4. Способ «Импульсный»

Способ является разновидностью способов, описанных выше (см. п.п. 1, 3) и описан в а.с. № 1718305 ; Н 01 М10/48,БИ № 9, 1992 г. Оценка остаточной емкости ХИТ. На ХИТ подают импульсы длительностью от 10^{-3} сек. до 10^3 сек. в зависимости от остаточной емкости батареи, и амплитудой равной (1-1,5) напряжения на ХИТ. Измеряется зависимость тока от времени, и, по ранее установленной зависимости, определяется остаточная емкость ХИТ. Способ пока не нашел широкого применения.

Устройства, реализующие данный способ

Неизвестны

Предполагаемые положительные качества:

- сокращает время оценки состояния ХИТ;

Предполагаемые отрицательные качества:

- измерения проводят на нескольких частотах, определенных для каждого типа аккумулятора;
- относительно длительное время измерения (при длительности импульса равной 10^3 с это составит более 17 мин);
- ток в импульсе доходит до 15-20 А, что при большой длительности требует больших энергетических затрат;
- значительные массогабаритные показатели устройств, реализующих способ;
- требуется знание ранее установленной зависимости тока от времени.

5. Способ «Импедансный»

Способ заключается в измерении внутреннего сопротивления (комплексного или различных его составляющих) ХИТ на одной или на разных частотах подаваемого напряжения в начальной стадии (когда ХИТ новый или заведомо хороший – «эталонный») и в процессе эксплуатации ХИТ. По результатам этих измерений оценивают остаточную емкость аккумулятора. Способ нашел самое широкое применение, и при серьезном подходе к разработке, имеет хорошие перспективы.

Устройства, реализующие данный способ

Некоторые из наиболее распространенных:



Производитель - ООО «Мегарон» (Россия). Измеритель внутреннего сопротивления ХИТ



Производитель - Фирма ISR (Канада). Battery Capacity Tester **TES-32**



Производитель - Фирма «А и Т Системы» (Россия). Индикатор емкости свинцовых аккумуляторов «Кулон»



Продавец - Фирма «Гаро» (Россия). Тестер Accuracy Plus

В этот список можно отнести и более сложные устройства, которые великолепно реализуют свои возможности, но не пригодны для массового потребителя и могут использоваться только в лабораториях и институтах.



Производитель - ООО «Элинс» (Россия).
Импедансметр Z350M



SPECTRO CA-12

Производитель - Фирма Cadex (Канада).
Spectro CA-12 Automotive Battery Tester

Основные качества устройств и способа:

Положительные:

- малое время оценки параметров ХИТ;
- емкость определяется без контрольного разряда и (или) заряда;
- удобный интерфейс (у большинства устройств);
- практически не расходуют измеряемые величины;
- пригоден для серийного производства (там, где возможно применение);
- питание от проверяемого ХИТ (в определенном диапазоне напряжений);
- небольшие массогабаритные показатели.

Отрицательные:

- предназначены только для определенного типа систем (например - кислотных аккумуляторов с максимальным напряжением 12 В); построение универсального прибора приводит к серьезным метрологическим издержкам (см. вышеприведенные примеры);
- низкая точность измерения емкости ХИТ; пригодны в качестве индикаторов емкости ХИТ;
- сложнейшая внутренняя математическая обработка данных, полученная от сложной аппаратной начинки (цифровое формирование и обработка сигналов сегодня не так дорого стоит);
- критичность к напряжению на проверяемом аккумуляторе. Напряжение должно находиться в абсолютно четких пределах (например, для «Кулон» это $(0,75 - 1,2) U_{ном}$);
- индивидуальные характеристики (параметры) для каждого типа ХИТ;
- высокие требования к обслуживающему персоналу – необходимы знания и способность оценить полученные результаты (необходимо отметить – некоторые модели устройств пытаются перевести полученные результаты в удобовоспринимаемый вид);
- в некоторых устройствах реализована четырехпроводная схема измерения, т.к. при двухпроводной – точность измерения импеданса невысока;
- необходимость калибровки или отслеживания по конкретному ХИТ

6. Способ «Неизвестный»

Можно также назвать «секретный и запатентованный», поскольку авторы в кратком описании часто употребляют эти слова

По нашему мнению, это один из вышеописанных способов, но с несколько измененными формулировками описания, направленными на доверчивых и технически неграмотных пользователей ХИТ.

Устройства, реализующие данный способ

Список найденных устройств невелик. Некоторые из них приведены ниже:



Производитель - ПО «Бастион» (Россия).
Тестер емкости АКБ «Скат»



Производитель - Фирма Benning Power (Англия).
Автоматическая тестовая система

Основные качества устройств:

Предполагаемые положительные:

- малое время оценки параметров ХИТ;
- у большинства устройств удобный интерфейс;
- практически не расходуют измеряемые величины;
- питание от проверяемого ХИТ (в определенном диапазоне напряжений);
- небольшие массогабаритные показатели.

Предполагаемые отрицательные:

- предназначены только для определенного типа систем (например - кислотных аккумуляторов с максимальным напряжением 12 В);
- требуется предварительный заряд ХИТ; при заряде менее 50% не работоспособен или показания не соответствуют действительности;
- критичность к напряжению на проверяемом аккумуляторе. Напряжение должно находиться в абсолютно четких пределах;
- значительное потребление энергии от проверяемого ХИТ;
- необходимость предварительной калибровки по ХИТ с заведомо известной емкостью;
- сильная зависимость от текущего эксплуатационного состояния ХИТ (температура, время от ближайшего заряда, и т.д.);
- сильная зависимость от технического состояния элементов коммутации (проводов, игл, зажимов и т.д.);

Таблица 1 Сводная таблица оценки способов и устройств по фиксированным характеристикам

Наименование способа	Основные характеристики способа и устройств его реализующих															
	Поставлен в соответствие с ЗАКОНОМ	Универсальность способа (способность оценки различных величин)	Длительность реализации способа	Пригодность для серийного производства	Нерасходование измеряемой величины	Пригодность для гальванических элементов	Независимость от тех. состояния элементов коммутации	Зависимость от текущего состояния ХИТ (заряженность, «память» и т.д.)	Независимость от текущего напряжения на ХИТ	Независимость от действий человека	Независимость от типа электрохимической системы ХИТ	Отсутствие необходимости калибровки по эталонному ХИТ	Возможность реализации для ХИТ большой емкости (от 500Ач) и напряжения	Масса и габариты устройства	Цена реализации способа	Сумма баллов
Способ «Измерение времени разряда ХИТ при номинальной постоянной нагрузке»	5	5	0	1	0	0	4	5	5	3	5	5	5	2	5	50
Способ «Измерение напряжения под нагрузкой»	0	1	3	1	2	0	2	2	5	1	5	2	3	4	4	35
Способ «Отклик на тестовый сигнал»	0	1	4	2	3	1	2	2	4	5	2	0	1	4	1	32
Способ «Импульсный»	0	1	3	1	2	1	3	2	4	5	2	0	1	3	1	29
Способ «Импедансный»	0	5	5	3	4	5	1	1	0	3	0	0	4	5	3	39
Способ «Неизвестный»	0	1	5	1	4	3	1	1	0	4	0	0	2	5	2	29
<p>Примечание: оценка характеристик способа и устройств выполнена по пятибалльной шкале:</p> <p>0 – характеристика имеет наихудшее значение 1 – плохо 2 – неудовлетворительно 3 – удовлетворительно 4 – хорошо 5 – отлично</p>																

Общие выводы:

1. Недостаток всех вышеперечисленных способов (кроме способа на основании ГОСТ - ЗАКОНА) - могут качественно оценивать емкость ХИТ, и качество оценки в значительной степени зависит от типа ХИТ и массы других зависимых и влияющих факторов. Могут применяться как способы индикации емкости ХИТ (с этой точки зрения разработчикам Кулона низкий поклон и уважение!);
2. По количеству баллов, которые набрали шесть перечисленных способов, максимальное количество набрал первый, что еще раз подтверждает его законность!
3. Перспективным способом является «Импедансный» (второй в рейтинге). Для перевода его в разряд способов измерения требуются серьезные исследования.

Предлагаемый способ измерения остаточной емкости ХИТ - «Эталон»

Способ заключается в сравнении измеряемой емкости с эталонной. Описан в патенте России №2172044 (БИ №24, 2001 г.).

Эталоном является конденсатор. Исходя из типа эталона, устройству требуется калибровка и периодическая поверка. Ни то, ни другое не имеет технических проблем и реализуется стандартными приборами по стандартным, юридически законным методикам калибровки, аттестации и поверки.

Способ позволяет строить измерители остаточной (текущей) емкости ХИТ со следующими положительными характеристиками:

- большой динамический диапазон измерения - возможность реализации устройств для ХИТ большой емкости (например, предварительный расчет делался для применения на подводных лодках с емкостью АКБ 14000Ач);
- цена единицы младшего разряда измеряемой величины – без ограничений;
- относительная приведенная погрешность измерения - не более 3%;
- рабочие атмосферные условия эксплуатации – нормальные в соответствии с ГОСТ 15150 – УХЛ2 в диапазоне температур +5 - +40 градусов Цельсия;
- реализованный способ - не расходует измеряемую величину (например, для емкости 55 Ач отбираемая емкость составит $1,5 \cdot 10^{-5} \%$);
- способность измерения емкости ХИТ любых типов - аккумуляторов и гальванических элементов;
- способность измерения емкости ХИТ независимо от типа электрохимической системы ХИТ;
- способность мгновенно выполнять измерение (например, для емкости 55 Ач $t_{изм} = 270$ мкс);
- абсолютная пригодность для серийного производства;
- независимость от значения напряжения на ХИТ;
- независимость от текущего состояния ХИТ (заряд – разряд, «эффект памяти» и т.д.);
- отсутствие необходимости эталонировать по «известному» ХИТ;
- абсолютная независимость от действий человека;
- малые габариты и вес (например, габариты 120*50*50 мм и вес 0,1 кг для емкостей до 100Ач);
- питание от измеряемого аккумулятора (для ХИТ с напряжением от 6 В и выше);
- простота в эксплуатации;
- способность реализации дополнительных функций - после выполнения измерения остаточной емкости конкретного ХИТ, возможность однозначного прогнозирования.

Используя данный способ, разработано устройство – опытный образец.

Измеритель емкости ХИТ – ИЕ-1 серия «ВИСТА»

Устройство находится на испытаниях с последующей метрологической аттестацией.

На базе данного способа измерения предприятие разрабатывает серию устройств «ВИСТА» для измерения остаточной емкости ХИТ и прогнозирования эксплуатационных параметров.

