

Богдан В. Копей*, Валерий В. Лопатин**

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АВТОНОМНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ В МОБИЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ДЛЯ ШТАНГОВИХ СКВАЖИННЫХ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК И ШАХТНЫХ ПОДЪЕМНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Многообразие и разноплановость задач, стоящих перед нефтяной и горнодобывающей отраслью Украины предполагает безопасную длительную эксплуатацию нефтяных скважин и горных выработок, для чего необходимо проводить периодическую диагностику их состояния. В ИФНТУНГ и ИГТМ НАН Украины выполнена большая работа по диагностике состояния штанговых скважинных насосных установок (ШСНУ) и вертикальных горных выработок мобильными информационно-измерительными системами и комплексами (МИИСК) [1, 2]. Известно, что при работе с МИИСК недопустимы неточности при замерах на ШСНУ или шахтном подъемном комплексе, т.к. выводы сделанные на их основе (диагностические прогнозы), способные привести к авариям, которые существенно повышают затраты на добычу и переработку полезных ископаемых, а также могут послужить причиной гибели или травматизма операторов. Отсутствие в полевых условиях или в необходимых точках измерений горных выработок возможности подключения к электрической сети, вынуждает использовать в МИИСК автономные источники питания (АИП). Проблема АИП очень актуальна и практически безальтернативна, т.к. точность МИИСК напрямую зависит от АИП. Однако до настоящего времени информация в литературе по этому вопросу отсутствует.

Проблема АИП МИИСК, кажется простой и элементарной лишь на первый взгляд. Наша практика и опыт показали, что очень часто она требует серьезного внимания и длительных исследований. То, что было приемлемо в обычных условиях, совершенно не годилось в нефтепромысловых и шахтных условиях.

* ИГТМ НАН Украины, Днепропетровск

** ИФНТУНГ, Ивано-Франковск, Украина

В настоящее время существует необходимость проведения натуральных испытаний МИИСК и АИП как их составной части. В настоящей статье изложены некоторые результаты одиннадцатилетнего опыта исследования АИП при эксплуатации в полевых условиях, в вертикальных горных выработках и специальных лабораториях.

В нашей практике использовались только стандартные химические источники напряжения, которые, как известно, подразделяются на первичные – гальванические элементы (ГЭ) и вторичные – аккумуляторы. На наш взгляд, перед тем как приступить к выбору АИП, необходимо предварительно составить весь энергетический баланс МИИСК (рабочие напряжения, потребляемые токи, необходимая электрическая емкость и точностные требования к ним) учитывая, что не все потребители работают непрерывно и одновременно. Используя эти данные, пользуясь каталогами, выбирают нужные. Из практики известно, что отдельные экземпляры аккумуляторов сохраняют почти полную работоспособность даже после шестикратного гарантийного срока, что говорит о большом запасе надежности.

В начальный период, нами применялись ГЭ, например в МИИСК «ОРИОН-1» [3]:

- R6 (миньон) допускающий при повторно-кратковременной работе потребляемый ток до 20 мА и ток короткого замыкания ≈ 6 А;
- R20 (моно) допускающий при повторно-кратковременной работе потребляемый ток до 90 мА и ток короткого замыкания ≈ 10 А.

В процессе эксплуатации вышеуказанных ГЭ выявлена существенная зависимость их напряжения от нагрузки и степени разряда элемента. Так, напряжение ненагруженного ГЭ (R6) составляет $1,55 \div 1,75$ В, под нагрузкой комплекта реостативных датчиков инерционного действия типа МП-95 [4] оно падало до $1,3 \div 1,6$ В. При длительном хранении (год) ГЭ вследствие саморазряда истощаются и без нагрузки. Характерным признаком истощенного ГЭ является его повышенное внутреннее сопротивление. На основе этого эффекта нами была применена следующая методика определения годности ГЭ. Кратковременное (не более 2 секунд) измерение тока короткого замыкания и если ток составляет $\leq 50\%$ номинального или резко падает – ГЭ для работы непригоден, так как при этом существенно снижается эффективность работы МИИСК (до полного отказа). При этом следует иметь в виду, что значение тока короткого замыкания ГЭ различных фирм значительно отличаются друг от друга (более 30%), поэтому приходится принимать в расчет лишь ориентировочные значения.

По нашим наблюдениям новый ГЭ, имеет внутреннее сопротивление порядка 0,2 Ома, к концу службы оно возрастает до $5 \div 7$ м. Так как ГЭ в МИИСК «ОРИОН-1М» нагружается измерительными датчиками МП-95, а для восстановления значения линейного ускорения МП-95 используется дифференциальная восстанавливающая функция

$$\alpha_{\text{диф}} = A\ddot{U} + B\dot{U} + CU,$$

где U – мгновенное напряжение на датчике МП-95, \ddot{U} и \dot{U} соответственно вторая и первая производные из него [5].

Понятно, что такое изменение внутреннего сопротивления, а также падение ЭДС ГЭ до 1 вольта вносило бы более 40% погрешности измерительной системы (при норме не более 7÷9%). Поэтому один из измерительных каналов МИИСК измеряет мгновенное значение напряжения запитки датчиков МП-95 для исключения этой погрешности в процессе обработки. Для повышения точности МИИСКах «МАК-1» и «МАК-2» аналогично выполнено и после перехода на аккумуляторы.

ГЭ, изготовленные за 8÷12 недель до начала их эксплуатации, имеют напряжение на момент изготовления, пониженное примерно на 10% ниже от номинального. Известно, что ГЭ не гарантированы от вытекания аммиака или выхода агрессивных паров, это следует учитывать и размещать ГЭ так, чтобы непредвиденная утечка не привела к порче аппаратуры.

Установлено, что при применении ГЭ в аппаратуре МИИСК:

- Напряжение следует стабилизировать, стабилизатор напряжения должен обязательно иметь защиту от короткого замыкания в нагрузке (автоматически возвращаться в рабочий режим после устранения перегрузки). Это существенно повышает эксплуатационные свойства в полевых и шахтных условиях неквалифицированным персоналом, облегчает ремонт и налаживание аппаратуры. Такой стабилизатор с самовозвратом при возникновении короткого замыкания в нагрузке отключается не полностью, т.е. через нагрузку продолжает течь некоторый ток, который и делает возможным запуск стабилизатора после снятия перегрузки.
- Для наиболее эффективного использования ГЭ его нагрузка должна быть минимальной (не более 15% от номинальной емкости).
- Т.к. невозможно точно прогнозировать остаток электрической емкости ГЭ, поэтому перед каждым измерением необходимо его контролировать, например по вышеизложенной методике.
- Через каждые 30÷45 минут (не более) непрерывной работы необходим перерыв (не менее часа), чтобы ГЭ мог восстановиться и работать более экономично.
- В случае предельных нагрузок переходить на иные элементы или аккумуляторы.

Вышеизложенные проблемы заставили авторов отказаться от их практического применения в МИИСК для полевых условий и горных выработок. Для наших целей более приемлемыми оказались герметические кадмиево-никелевые (щелочные) и свинцовые (кислотные) аккумуляторы.

По сравнению с ГЭ они обладают следующими преимуществами:

- при точном выполнении инструкции по уходу и обслуживанию могут служить до 10 лет (ГЭ не более полгода), позволяя произвести до 1500 зарядно-разрядных циклов;
- даже при длительном (до 28 суток) хранении происходит очень незначительный их саморазряд (не более 2%);
- практически постоянное напряжение разряда (в диапазоне рабочих токов) и оно при разряде падает гораздо медленнее, чем у ГЭ;
- обслуживание ограничивается только зарядом и чисткой мест контактов.

У щелочного кадмиево-никелевого аккумулятора внутреннее сопротивление по нашим наблюдениям составляет $0,04 \div 0,10$ Ом, поэтому он менее чувствителен к коротким замыканиям, чем кислотный.

Для экспериментальных датчиков и приборов с нестандартизованным напряжением авторам приходилось изготавливать аккумуляторные батареи из отдельных стандартных. Здесь важным является равномерная разрядка отдельных аккумуляторов, для этого они строго подбираются по емкости с разбросом не более 1,5%, чтобы исключить неприятности в эксплуатации и особенно при зарядке. По этой же причине самодельные батареи необходимо 2÷3 раза в год контролировать и проводить профилактику.

Наряду с щелочными аккумуляторами для мощных потребителей в МИИСК использовались свинцовые герметические аккумуляторы. По своим эксплуатационным свойствам они очень близки к вышерассмотренным щелочным, поэтому правила обслуживания остаются по существу теми же самыми. Внутреннее сопротивление свинцового аккумулятора очень мало, поэтому сила тока короткого замыкания недопустимо велика, и подвергать его вышеуказанной проверке без шунта (не менее 0,1 Ом) нельзя.

После 4÷5 лет эксплуатации часто происходит сульфатация аккумулятора. Если сульфатация еще не стала необратимой, ее можно устранить или, по крайней мере, ослабить за 3÷5 циклов «тренировки» аккумулятора. Цикл состоит из глубокой разрядки и полной зарядки аккумулятора. Важно при этом не допустить перезарядки и переразрядки. Например глубокий разряд для нового аккумулятора No. 1 МИИСК «МАК-1» (7,2 А/ч, 12 В) соответствует напряжению 11,5В, полной зарядке – 14,2 В.

Следует отметить имеющуюся зависимость величины емкости от температуры. Например, при измерении емкости при лабораторных исследованиях аккумулятора при температуре -20°C наблюдается устойчивое падение емкости до 40%, а при измерениях на ш. «Эксплуатационная» (г.Днепроудный) при температуре $+35^{\circ}\text{C}$ фиксировалось ее увеличение до 15%.

Аккумулятор No. 1 МИИСК «МАК-1» обеспечивает напряжением накопительно-обрабатывающий модуль: поддерживает штатный аккумулятор бортового ноутбука через адаптер и через стабилизатор цифровые датчики системы, поэтому напряжение его не стабилизируется. Аккумулятор m 2 шестиканального тензометрического модуля МИИСК «МАК-2» обеспечивает напряжением изолированные модули нормализаторов типа 5B38 и кросс-плату с термокомпенсацией фирмы «Analog devices» с током потребления более 1,3 А. Поэтому для обеспечения очень высоких фирменных точностных характеристик модулей нормализаторов (относительная погрешность $\pm 0,08\%$), питающее напряжение 10 В выдерживается (стабилизируется) с погрешностью $\pm 1\%$ мощным стабилизатором с обеспечением теплового режима. Все аккумуляторы МИИСКов «МАК-1» и «МАК-2» выбраны таким образом, чтобы потребление составляло около 10% номинальной емкости, что на наш взгляд наиболее рационально. Данный подход обеспечивает непрерывный режим работы МИИСК полторы рабочей смены.

Многолетний опыт убедил в важности и серьезности вопроса зарядки аккумуляторов, недооценка которого приводит на практике к самым негативным проблемам.

Известно, что основное требование к зарядному устройству – передать заряжаемому аккумулятору соответствующий электрический заряд. В нашем случае это требование дополняется обеспечением быстрой зарядки, удобство пользования в полевых и шахтных условиях, устранения «запоминающего» эффекта аккумулятора.

Причем, важнейшим является обеспечение безопасной нефтепромысловой или шахтной эксплуатации. Сюда относятся и безопасность обслуживания, и защита заряженных аккумуляторов, и собственно зарядного устройства от выхода из строя при любых ошибках пользователя. В своей многолетней практике мы неоднократно наблюдали неприятное явление – взрыв аккумулятора. Поэтому пренебрегать безопасностью нельзя.

Известны несколько способов определения момента окончания зарядки аккумулятора. Основные из них следующие:

1. Заряжают постоянным 10% от численного значения емкости аккумулятора током. Ее прекращают вручную по истечении 14÷16 часов, достаточных для полной зарядки.
2. Аккумулятор заряжают постоянным током с автоматическим отключением по истечении заданного времени. Возможен форсированный режим (двадцатикратное увеличение зарядного тока), но тогда необходимо соблюдать условия: должна быть гарантирована предварительная разрядка аккумулятора до номинальной для него величины, обеспечена строгая зависимость продолжительности зарядки от установленного значения.
3. Зарядку прекращают при увеличении температуры аккумулятора. Этот способ небезопасный!
На практике контроль температуры аккумулятора часто применяют как аварийный признак необходимости прекращения зарядки.
4. Фиксированный ток зарядки, при достижении заданного значения напряжения, зарядка заканчивается автоматически.
Установка этого порогового напряжения весьма критично, сильно зависит от температуры, «возраста» и т.д. и определяется экспериментально.
5. По скорости увеличения напряжения при достижении заряженного состояния аккумулятора.
Примером такого устройства является ТЕА-1100 фирмы Philips.
6. Заряженное состояние аккумулятора определяют также по скачку напряжения на нем, но для получения отличных характеристик заряд ведется током не менее чем двадцать раз превышающим значение безопасного.

Примером зарядного устройства высшего класса является ULTRA DUO. В нем зарядка (напряжение) контролируется с точностью 0,25%, в процессе зарядки ток регулируется так же с точностью 0,25%, что обеспечивает максимальную скорость без перезарядки.

По устоявшейся международной терминологии зарядка может быть: очень быстрой (30÷60 минут); быстрой (1,5÷3 часа); ускоренной (4÷6 часов); нормальной (12÷16 часов); медленной (более 16 часов).

В нашей практике в основном применяют три последних, т.к. реальная емкость аккумуляторов сильно зависит от многих факторов.

Одиннадцатилетняя практика выработала за правило проверять степень зарядки аккумуляторов перед каждым измерением. Для этого на каждый аккумулятор снимается зарядная и разрядная характеристика (таб. 1), которая заносится в память бортового компьютера МИИСК. Характеристика построена таким образом, что позволяет сразу определять, насколько разряжен поверяемый аккумулятор, и как долго его надо заряжать до полной емкости.

Опыт показал, что характеристики аккумулятора, проработавшего несколько лет, подчас совсем не соответствуют характеристикам нового. Поэтому, необходимо раз в полгода, путем контрольного разряда-заряда, измеряя через 15÷30 минут, проверять, соответствует ли характеристика предыдущей. При наличии отклонений таблицу следует корректировать. Только таким образом можно гарантировать достоверность информации о степени заряда аккумулятора.

Таблица 1

Характеристики для оценки степени заряда аккумулятора No. 1 МИИСК «МАК-2»
на июнь-декабрь 2005 года

Степень заряда, % от полной емкости	Требуемое время дозарядки, час.	Напряжение, В на клеммах аккумулятора под нагрузкой
10	1,5	13,36
20	3,0	13,19
30	4,5	12,84
40	6,0	12,62
50	7,5	12,45
60	9,0	12,37
70	10,5	12,21
80	12,0	12,18
90	13,5	12,03
100	15,0	11,85

ВЫВОДЫ

1. На практике питание датчиков МИИСК от ГЭ и аккумуляторов, а также измененное напряжение АИП могут давать различную погрешность измерения. Поэтому необходимо в процессе обработки результатов измерений учитывать в восстанавливающей функции мгновенное напряжение питания датчиков.

2. Температура -20 до -30°C вызывает падение емкости АИП на $40\div 50\%$, а при $+30$ до $+40^{\circ}\text{C}$ емкость АИП возрастает на $10\div 15\%$.
3. Только в самодельной аккумуляторной батарее удастся полностью реализовать индивидуальный ресурс всех аккумуляторов и учесть все особенности и требования конкретного датчика.
4. Из-за неприемлемости АИП и невозможности его адаптации в нашей практике приходилось отказываться от стандартной аппаратуры.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Копей Б.В., Лопатин В.В., Копей И.Б.: *Измерительные средства контроля и экспресс-диагностики оборудования нефтегазового машиностроения*. Разведка и разработка нефтяных и газовых месторождений, No. 1(6), 2003, 129–133 (на украинском языке)
- [2] Лопатин В.В.: *Новый подход к измерительным средствам контроля и экспресс-диагностики состояния горных выработок*. Геотехническая механика. Межвед. науч.-техн. сб., 2002, Вып. 33, 212–217
- [3] Ильин С.Р., Лопатин В.В., Послед Б.С.: *Компьютерная система диагностики подземного оборудования подъемных установок*. Тезисы докладов конференции „Механика и новые технологии”, Севастополь, 1995, 63–66
- [4] Fink D.G.: *Standard Handbook for electrical engineers*. New York, McGraw-Hill 1997, 357
- [5] Лопатин В.В.: *Динамика измерительного устройства МП-95 при контроле плавности движения подъемных сосудов шахтных подъемных установок*. Всеукраинский научно-технический журнал “Вибрации в технике и технологиях”, 1998, No. 3 (7), 84–85
- [6] Лопатин В.В.: *Структурно-функциональная схема экспресс-диагностирования динамического состояния системы «подъемный сосуд-жесткая армировка»*. Геотехническая механика, Межвед. науч.-техн. сб., 2001, Вып. 29, 187–189