

УДК 622.474.2:622.86:620.98:622.475.242

© А.А. Галиев, 2013

Технические решения для шахтных головных светильников в составе многофункциональной системы безопасности

А.А. Галиев,

директор

ООО «ИНОТЕХ»

Рассмотрены требования к шахтным головным светильникам, работающим в составе многофункциональных систем безопасности; предлагаемые и применяемые технические решения, их достоинства, недостатки и возможные направления дальнейшего развития.

The Article reviews the requirements for mine caplamps operating in the scope of multifunctional safety systems, the proposed and used technical solutions, their merits and demerits, and possible fields of future development.

Ключевые слова: аккумулятор, светильник, система безопасности.

В связи с повышением требований к обеспечению безопасности подземных горных работ, выразившихся в необходимости создания и обязательном применении в шахтах многофункциональных систем безопасности (МСБ), возросли требования и к шахтным головным светильникам, которые исторически оказались одним из элементов МСБ. Если раньше от светильника требовалось не больше, чем «светить, чтобы на смену хватало», то в настоящее время он должен не только освещать рабочее место, но и выполнять ряд других функций, причем в течение значительно более длительного времени, чем продолжительность одной рабочей смены. Какие это функции, в течение какого времени они должны выполняться и какие способы решения данных вопросов предлагаются производителями шахтных головных светильников — рассматривается ниже.

В предыдущих публикациях [1, 2] некоторые вопросы уже освещались, поэтому будем исходить из следующей предпосылки: работа шахтного головного светильника складывается из двух режимов — основного и аварийного. Основным режим характеризуется небольшим временем работы (10 ч) и необходимостью обеспечивать: качественное освещение рабочего места, в том числе и на значительном расстоянии от

работающего; работоспособность встроенного сигнализатора метана и встроенной системы оповещения. В отличие от основного, аварийный режим работы светильника предусматривает значительно более долгий срок его функционирования (минимум 36 ч), достаточное для передвижения по подземным выработкам освещение окружающего пространства и работоспособность системы поиска и оповещения. Обеспечить полнофункциональную работу светильника с имеющимся запасом энергии его аккумуляторной батареи (АБ) можно двумя путями: увеличением номинальной емкости АБ и снижением энергопотребления светильника со встроенными дополнительными устройствами как в основном, так и в аварийном режимах работы.

В основном режиме работы светильник с дополнительными устройствами потребляет ток около 500 мА, следовательно для обеспечения его работы в течение 46 ч необходима емкость аккумулятора 23 А·ч. В настоящее время на шахтах наиболее распространены герметичные аккумуляторы следующих типов: никель-кадмиевые, никель-металл-гидридные и литий-ионные. Отечественным стандартом ГОСТ Р 52350.0—2005 п. 23.2 разрешено использование никель-кадмиевых и никель-металл-гидридных аккумуляторов, а применение литиевых аккумуляторов разрешалось при наличии соответствующего стандарта. С выходом ГОСТ Р МЭК 61960—2007 применение литиевых аккумуляторов во взрывозащищенном электрооборудовании приобрело легитимный характер. В сравнении с никелевыми аккумуляторами литиевые имеют ряд преимуществ, основное из которых — более высокая удельная емкость по отношению к массогабаритным показателям. Но автор считает, что использование литиевых аккумуляторов в шахтных головных светильниках имеет ряд неоднозначных моментов.

Первое: определение емкости литиевого аккумулятора. Несмотря на наличие международного стандарта IEC 61960:2003 и соответствующего ему отечественного ГОСТ Р МЭК 61960—2007, разные производители по-разному оценивают емкость выпускаемых аккумуляторов. Например¹:

аккумуляторы SAFT серии MP (Li-ion) емкостью 2,6–6,8 А·ч: номинальная емкость указана при разряде током $0,2C_n$ (C_n — номинальная емкость) до напряжения 2,5 В; серии LSH (Li-SOCl₂) емкостью 13 А·ч: номинальная емкость приведена при разряде током 15 мА до напряжения 2 В;

¹ Все данные об аккумуляторах здесь и далее взяты из источников, размещенных на официальных сайтах соответствующих производителей.

аккумуляторы VARTA серии LIP (Li-ion) емкостью 1–2 А·ч: номинальная емкость дана при разряде током $0,2C_n$ до напряжения 2,75 В; серии LPP (Li-Polymer) емкостью 1–2 А·ч: номинальная емкость указана при разряде током $0,2C_n$ с напряжения 4,2 В до напряжения 3 В;

BYD (Китай): для всех типов литиевых аккумуляторов указана емкость при разряде током $0,2C_n$ с напряжения 4,2 В до напряжения 2,75 В;

Akku Power GmbH (поставщик для Sanyo, Panasonic, Maxell и др., а также изготовитель OEM-сборок) для разных типов литиевых аккумуляторов приводит минимальное напряжение разряда от 2 до 3 В без указания тока разряда;

ГОСТ Р МЭК 61960—2007 предусматривает определение емкости АБ при разряде током $0,2C_n$ до конечного напряжения 2,5 В.

Для шахтного головного светильника минимально возможным напряжением, при котором он остается работоспособным, является 3 В, а многие производители аккумуляторов рассчитывают емкость, принимая минимальное напряжение 2,75 В или 2,5 В. Кроме того, отличается и ток разряда, при котором эта емкость рассчитывается. Как известно, при большем токе разряда аккумулятор отдает меньше энергии, чем при малом, и реально потребляемый светильником ток может в разы отличаться от тока разряда при испытаниях на определение отдаваемой емкости. Следовательно, во всех случаях применения литиевых АБ необходимо корректировать реальную полезную емкость, которая отличается от номинальной емкости, заявленной изготовителем, и в подавляющем большинстве случаев — в сторону уменьшения.

Исходя из предположения о необходимой емкости АБ 23 А·ч, рассмотрим способы получения такой АБ. Для никелевых АБ с номинальным напряжением аккумулятора 1,2 В потребуется последовательное соединение трех аккумуляторов, каждый из которых имеет емкость 23 А·ч. Подходящих размеров таких аккумуляторов для переносных приборов нет. Литиевые аккумуляторы напряжением 3,7 В потребуют параллельного соединения нескольких аккумуляторов суммарной емкостью 23 А·ч. И тут возникает такое противоречие: ГОСТ Р 52350.0—2005 запрещает параллельное включение аккумуляторов в батарее согласно п. 23.1 «Батареи внутри взрывозащищенного электрооборудования должны состоять только из элементов, соединенных последовательно», а ГОСТ Р 52065—2007 косвенно разрешает параллельное соединение в соответствии с п. 7.10 «при параллельном включении

элементов информацию об этом, а также о том, что способ предотвращения перегрева или прохождения обратного тока через элемент безопасный и безотказный, включают в декларацию изготовителя головных светильников». Насколько этот способ безотказный и безопасный — остается на совести производителя и органа по сертификации, так как конкретно описанных технических решений обеспечения этой безотказности и безопасности (как, например, существующие требования по использованию только пассивных элементов или последовательного включения нескольких предохранительных устройств или элементов) в настоящее время нет.

Второе: определение ресурса литиевых аккумуляторов. И здесь нет единства среди производителей.

Фирма Akku Power GmbH для аккумуляторов типа LiCoO_2 и LiMn_2O_4 указывает более 300 циклов «зарядов — разрядов», а для типов LiNiMnCoO_2 и LiFePO_4 — более 1000 циклов, не указывая при этом ни минимально допустимое падение емкости, ни стандарты, по которым определялся этот ресурс;

BYD показывает 10%-ное линейное падение емкости АБ на протяжении 400 циклов, а что в дальнейшем — неизвестно;

VARTA для серии LIP (Li-ion) допускает падение емкости до 70 % C_n после 500 циклов и до 80 % C_n после 300 циклов, а для серии LPP (Li-Polymer) — 75 % C_n после 400 циклов;

SAFT серии MP (Li-ion) — снижение емкости АБ до 70 % C_n после 600 циклов разряда током $0,2 C_n$.

ГОСТ Р МЭК 61960—2007 регламентирует сохранение не менее 60 % C_n после 300 циклов (для батарей) или 400 циклов (для аккумуляторов) при разряде током $0,2 C_n$ до минимального напряжения 2,75 В.

Во всех случаях следует отметить то, что реальные режимы разряда отличаются от тех режимов, что используются при испытаниях (ток разряда, степень разряда, время между зарядом и разрядом, температура и т.д.). Следовательно, оценка долговечности литиевых АБ может быть допущена только лишь с определенной долей вероятности, и заявления некоторых производителей об их долговечности (более чем 1000 циклов) требуют весьма критичного отношения.

Как видно, единообразия в определении параметров и правомочности использования во взрывобезопасном электрооборудовании литиевых АБ нет ни среди производителей, ни среди законодателей.

Теперь рассмотрим вопрос снижения потребляемой энергии светильником со встроенными дополнительными устройствами. В типичном светильнике три потребителя энергии: источник света, сигнализатор метана и радиоприемник-передатчик системы поиска и оповещения (радиометка). Снижение потребляемого тока источником света (на что идут некоторые производители) неизбежно приводит к ухудшению световых характеристик светильника. Снижение потребляемого тока радиометкой ограничено требованием правил безопасности обеспечивать такую мощность передатчика, чтобы радиосигнал проходил сквозь толщу породы не менее 20 м. Уменьшить потребляемую мощность сигнализатором метана можно только при использовании иных, чем ныне применяемых термокаталитических сенсоров метана. Полупроводниковые и фотометрические датчики имеют свои принципиальные недостатки: большие размеры, высокую зависимость точности показаний от переменных факторов (температура, влажность, давление), высокое напряжение питания и т.д. Следовательно, ресурсы экономии энергии в основном режиме работы себя практически исчерпали. Остается возможность экономии в аварийном режиме.

Все светильники имеют режим работы для аварийных ситуаций. Одни производители называют его «экономичный», другие — «аварийный». У всех светильников в таком режиме используется иной режим работы источника света: либо уменьшается сила тока, питающего основной источник света, либо вместо основного источника света включаются дополнительные, значительно меньшей мощности. Для вышеобозначенных отличий основного режима работы от аварийного в части качества освещения окружающего пространства такое снижение световых характеристик допустимо и оправдано.

Работа радиометки в основном и аварийном режимах принципиально не отличается, поэтому принимается равенство потребляемой электроэнергии для обоих режимов.

И, наконец, самое спорное: работа сигнализатора метана. В светильниках со встроенным сигнализатором метана производства ООО «Прокопьевский завод Светотехника» (г. Прокопьевск) и ПО «Электроточприбор» (г. Омск) во времена, когда

в качестве источника света использовалась лампа накаливания с двумя нитями, в режиме аварийного или, по терминологии того времени, «ближнего» света сигнализатор метана работал у прокопьевских светильников и не работал у омских. С переходом на светодиодные источники света ситуация зеркальным образом поменялась: в прокопьевских светильниках сигнализатор отключен, а в омских — продолжает работать.

Рассмотрим необходимость сохранения работоспособности сигнализатора метана в аварийном режиме. В случае срабатывания его при превышении допустимой концентрации газа в атмосфере рабочий должен прекратить работу и выйти из опасной зоны. Аналогичные действия рабочий должен совершить и при аварии. Если же рабочий в результате аварии лишен способности передвигаться (изолированное пространство, травма и т.д.), то срабатывание сигнализатора метана не обеспечит ему выполнение необходимых действий. Так какой смысл в подобной сигнализации? С введением в правила безопасности требования оснащать всех подземных рабочих индивидуальными переносными газоанализаторами на три или четыре газа необходимость во встроенных в светильник сигнализаторах метана отпадает: зачем нужен дублирующий прибор со значительно худшими метрологическими характеристиками? Но эта проблема выходит за рамки настоящей статьи.

Таким образом, запас энергии в АБ складывается из двух составляющих: необходимый объем для работы в основном режиме с большим потребляемым током в течение непродолжительного времени и необходимый объем для работы в аварийном режиме с малым потребляемым током в течение длительного времени. Приоритетным для светильников в составе МСБ является вторая составляющая, поэтому усилия их производителей направлены на то, чтобы тем или иным образом обеспечить необходимый запас энергии АБ для работы светильника в аварийном режиме. Достаточно давно используется защита АБ от глубокого разряда, отключающая светильник при падении напряжения на АБ ниже какого-то значения (как правило, $2,9 \text{ В} \pm 0,1 \text{ В}$). Учитывая, что радиометки подключаются напрямую к АБ, минуя все устройства защиты, можно предположить следующее. При увеличении порога отключения устройства защиты, например до $3,5 \text{ В}$, можно обеспечить необходимый для работы радиометки запас энергии за счет отключения других потребителей (источник света, сигнализатор метана). Но при этом не учитываются как минимум два

момента: светильник не выполняет одну из обязательных функций при работе в аварийном режиме (освещение горных выработок, достаточное для передвижения по ним) и то, что при снижении емкости АБ за время эксплуатации ниже какого-то значения время разряда АБ с 3,5 В до минимального рабочего напряжения радиометки может быть значительно меньше, чем требуемые 36 ч. Кроме того, существуют отличия в скорости разряда (а в нашем случае это время работы в аварийном режиме) в зависимости от тока разряда, температуры, типа АБ. Следовательно, контроль минимального напряжения сам по себе не может в должной мере обеспечить безусловное выполнение требований по продолжительности и функциональности работы светильника в аварийном режиме.

Другой, предлагаемый ПО «Электроточприбор», вариант: контроль времени работы светильника в основном режиме, при котором автоматически происходит переключение в аварийный режим по истечении 10,5 ч. Первый вопрос, возникающий при рассмотрении этого предложения, когда начинается отсчет таймера — с момента первого включения светильника в основной режим, с момента каждого последующего включения светильника в основной режим или с момента снятия светильника с зарядной станции? В случае запуска таймера при каждом включении светильника фактическое время его работы в основном режиме может значительно отличаться от времени уставки таймера, если во время работы происходило случайное или преднамеренное переключение из основного режима в аварийный или отключение. Следовательно, работу таймера надо организовать так, чтобы отсчет времени начинался с первого, после снятия светильника с зарядной станции, включения в основной режим, происходило суммирование отрезков времени работы в основном режиме, сброс таймера осуществлялся при установке светильника на зарядную станцию. Второе и более значимое замечание: данный метод не обеспечивает приоритета аварийного режима работы светильника, так как оставшаяся после функционирования в основном режиме емкость АБ может быть недостаточной для обеспечения необходимой продолжительности работы в аварийном режиме.

Существует предложение (ООО «Ингортех») создавать так называемый неприкосновенный запас (НЗ) емкости АБ, предназначенный только для работы радиометки. Помимо того, что данное предложение аналогично первому из вышеупомянутых, исключает одно из обязательных требований к работе светильника в

аварийном режиме — освещение окружающего пространства, возникает вопрос расчета необходимого НЗ и его определения в процессе эксплуатации светильника. Если исходить из того, что должна обеспечиваться исключительно только работа радиометки без источника света и других дополнительных устройств, то у разных производителей МСБ значения потребляемого радиометками тока различаются. Даже у одной модели радиометок разница в потреблении тока достигает 20 %. Каким образом производитель светильников (а создание такого устройства сохранения НЗ возлагается именно на производителя светильников) должен определять этот НЗ при поставке своей продукции потребителям, если даже на различных шахтах одной угледобывающей компании модели МСБ могут быть разными? Следующий вопрос — определение НЗ в процессе эксплуатации светильника. Единственный из существующих способов определения реальной емкости АБ с достаточной степенью точности является контрольный цикл разряда стабилизированным током предварительно полностью заряженной АБ до минимального напряжения разряда с фиксацией времени его продолжительности. Например, если разряд производился током 1 А в течение 12 ч, то емкость АБ составляет 12 А·ч. Стандартный цикл эксплуатации светильников с никелевыми АБ схож с контрольным циклом: разряд стабилизированным током во время работы светильника с последующим доразрядом стабилизированным током до минимального напряжения на зарядной станции и автоматическое переключение в режим заряда. В этом случае теоретически можно установить счетчик фактической емкости АБ, так как существуют нулевая точка отсчета — момент переключения зарядной станции из режима разряда в режим заряда — и количество энергии, заряжающей аккумулятор, — зарядный ток и продолжительность заряда. Вот только для никель-кадмиевых и никель-металл-гидридных аккумуляторов своеобразный КПД (отношение получаемой аккумулятором при заряде энергии к энергии, отдаваемой аккумулятором при разряде) значительно отличается: никель-кадмиевые АБ рекомендуется заряжать током $0,1 C_n$ в течение 12 ч, т.е. для заряда необходимо 120 % C_n , а никель-металл-гидридные АБ — током $0,1 C_n$ в течение 16 ч, а это уже 160 % C_n . Для заряда литиевых АБ доразряд не предусмотрен, и заряд осуществляется стабилизированным напряжением, при котором зарядный ток является переменной величиной. Следовательно, при эксплуатации светильников с литиевыми АБ отсутствует нулевая точка отсчета, значительно усложняется подсчет энергии,

получаемой АБ при заряде, и не учитывается емкость, оставшаяся до начала заряда. Но при всех озвученных проблемах у данного метода сохранения НЗ присутствует безусловное достоинство: приоритет аварийного режима работы над основным.

Особенность всех вышеописанных методов — попытка исключить человеческий фактор, все устройства работают автоматически без участия человека. Этого лишен еще один из предлагаемых производителями (ООО «Прокопьевский завод Светотехника») способов сохранения необходимой для работы в аварийном режиме энергии: установка датчика движения (акселерометра) и требование руководства по эксплуатации переключиться в аварийный режим в случае аварии или по истечении 10 ч работы в основном режиме. Акселерометр предназначен для автоматического отключения всех потребителей электроэнергии, кроме радиометки, в случае неподвижности светильника на протяжении определенного времени. То есть моделируется ситуация, когда попавший в аварию человек не может производить никаких манипуляций со светильником (травма, гибель и т.д.). Требование необходимости ручного переключения в аварийный режим при определенных условиях, помимо упомянутого человеческого фактора (необязательность исполнения), также не в полной мере соответствует приоритету аварийного режима перед основным (возможный недостаток оставшейся емкости АБ). Но производитель не ограничивается только электронными устройствами и комплектует свои светильники аккумуляторными батареями с самой высокой среди аналогов емкостью.

При оценке соответствия предлагаемых методов требованиям правил безопасности к светильникам в составе МСБ нельзя обделять вниманием и такой аспект, как регулярная проверка работоспособности применяемого метода (устройства), аналогичная той, которой подлежат блоки искрозащиты и сигнализаторы метана, встроенные в светильник. Вопрос об этом в процессе обсуждения задавали не только инспекторы Ростехнадзора, но и представители угледобывающих компаний. Проверить работоспособность акселерометра несложно: обеспечить 10–15 мин неподвижности светильника и проверить его автоматическое отключение можно в любое время. А вот каким образом должна проводиться в условиях ламповой, да еще и регулярно, проверка работоспособности таймера или устройства сохранения НЗ?

Из всего вышесказанного можно сделать следующие выводы:

1. При разработке и сертификации светильников, работающих в составе МСБ, необходимо понимать разницу в требованиях к функциональности светильника при работе в основном и аварийном режимах и оценивать технические решения на их соответствие как требованиям нормативных документов, так и практическим требованиям.

2. При выборе и эксплуатации светильников, работающих в составе МСБ, потребителям надо рассчитывать минимально необходимую емкость АБ, исходя из данных о типе АБ, потребляемом токе светильника и встроенных в него дополнительных устройствах как в основном, так и в аварийном режимах. Кроме того, необходимо регулярно проверять работоспособность устройств, обеспечивающих выполнение требований правил безопасности, и измерять фактическую емкость АБ с заменой тех АБ, емкость которых не удовлетворяет первоначальным требованиям.

3. Предлагаемые и используемые в настоящее время технические решения обладают различными существенными недостатками: проблема определения емкости АБ (номинальной и необходимой), селективность применения и неоправданно большое количество вариантов изготовления светильников (для идеи с НЗ), приоритет основного режима работы светильника над аварийным (таймер, ручное переключение режимов), невыполнение в полном объеме требований к функциональности аварийного режима работы и т.д.

От всех или большинства из указанных недостатков можно избавиться, если обеспечить независимое электропитание радиометок. Например, так, как реализовано в персональном опознавательном модуле РКВ 0102 D-AX производства Electronic GmbH, питание которого осуществляется от двух встроенных первичных элементов. Но для реализации такого решения необходимо, чтобы модуль системы поиска имел отдельное от модуля системы оповещения питание. У производителей систем поиска и оповещения и в этом вопросе нет единства: в системе, выпускаемой ООО «Ингортех» (г. Екатеринбург), модуль поиска PGRL выполнен в виде отдельного блока, независимого от модуля оповещения СУБР-1П, а в системе «Радиус-2» (ЗАО НВИЦ «Радиус», г. Красноярск) модуль поиска и модуль оповещения конструктивно находятся в едином приемном устройстве «Радиус 1-ПРМ 8».

Измерение емкости АБ в процессе эксплуатации в настоящее время не обеспечивает ни одно зарядное устройство из тех, что используются на шахтах.

Автоматические тренировочные станции АТС-1-20 производства ООО «Фирма Аэротест» предназначены для измерения емкости отдельных аккумуляторов в целях подбора их по емкости в батарею и не могут измерять емкость АБ светильника. Исходя из принятой концепции «шахтный головной светильник есть элемент МСБ» и собственного подхода к решению возникающих проблем, ООО «Прокопьевский завод Светотехника» готовит к серийному производству универсальную зарядную станцию, позволяющую не только заряжать все типы АБ, но и измерять их емкость с последующим отбором неудовлетворительных экземпляров. Таким образом, производитель светильников пытается обеспечить выполнение всех требований безопасности не только при создании новой продукции, но и в процессе ее эксплуатации.

Оправданность и эффективность тех или иных предлагаемых технических решений может быть подтверждена и проверена лишь с принятием обязательных для всех инструкций, руководств или стандартов, описывающих не только предъявляемые требования к светильникам в составе МСБ, но и методы проверки соответствия этим требованиям. В настоящее же время приходится констатировать полную неопределенность в этом вопросе и, соответственно, разнообразие не только технических решений, но и самих принципов организации работы светильника в составе МСБ.

Список литературы

1. *Галиев А.А.* Шахтный головной светильник как элемент систем безопасности// Безопасность труда в промышленности. — 2012. — № 6. — С. 32–34.
2. *Галиев А.А.* Методы испытаний шахтных головных светильников в составе многофункциональной системы безопасности// Безопасность труда в промышленности. — 2013. — № 1. — С. 46–48.

inoteh@mail.ru