

УДК 614.8

ИНЖЕНЕРНЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ МАССЫ ВЫДЕЛИВШЕГОСЯ ВОДОРОДА ПРИ ЗАРЯДЕ ТЯГОВЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ

Полева И.В., Полева И.И., к.т.н., доцент
Командно-инженерный институт МЧС Республики Беларусь

e-mail: ip@kii.gov.by

Предложен инженерный метод оценки массы выделившегося при заряде аккумуляторных батарей водорода, необходимой для расчета категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности и класса зоны по ПУЭ.

The engineering method of an assessment of weight of the emitted hydrogen necessary for calculation fire danger category of compartment is offered.

(Поступила в редакцию 21 января 2013 г.)

Проектирование объектов с использованием в качестве грузоподъемного оборудования электроштабеллеров и электропогрузчиков со съемными, требующими подзарядки, аккумуляторными батареями (далее АКБ), приводит к необходимости проектирования аккумуляторной зарядной и определению ее категории по взрывопожарной и пожарной опасности [1] и класса зоны по ПУЭ [2]. В основе расчета указанных показателей лежит определение массы водорода, выделившегося в помещение в период зарядки, порядок расчета которой четко не регламентирован.

В Пособии [3] (раздел VII, глава 3, часть 1) для целей указанного расчета использован закон Фарадея. При использовании данного метода возникает сложность с определением максимального зарядного тока и длительности его приложения. Отдельно требует разъяснение введения четырехкратного увеличения значения зарядного тока.

В ТКП-130-2008 [4] используется упрощенный метод: $m = 0,0000033 \cdot Q_A \cdot n_A$, что обуславливает его недостатки:

- общая масса водорода определяется за весь период зарядки АКБ, в то время как выделение водорода происходит только на последней стадии заряда;
- не обоснован физический смысл и значение величины 0,0000033.

При этом использование указанных методов для одних и тех же условий дает несопоставимые результаты с разницей в порядок. Методы длительное время не корректировались. Данная ситуация усложняет деятельность специалистов проектных организаций и снижает объективность проводимых расчетов.

Для исправления ситуации предложен метод, в основе разработки которого использована теория процесса электролиза, инструкции по эксплуатации и технические рекомендации ведущих европейских производителей АКБ.

Для обслуживаемых АКБ с использованием регулируемых зарядных устройств производители чаще всего рекомендуют комбинированный режим зарядки в два этапа [5]:

- первый этап – заряд током $I = (0,15 \div 0,2) \cdot C_5$, где C_5 – емкость АКБ до достижения батарей напряжения 2,4 В/элемент;
- второй этап – заряд током $I = 0,05 \cdot C_5$ до достижения батарей постоянного напряжения и постоянной плотности.

Процесс электролиза воды описывается соотношениями, связывающими количество электричества, прошедшего через ячейку, с количеством разложенной воды и выделяющихся при этом газов, измеренных в сухом состоянии и приведенных к нормальным условиям (0 °С и 760 мм рт. ст.) [6]. Так, при прохождении количества электричества Q ,

равного 1 А·ч, разлагается 0,336 г воды и выделяется 0,0373 г или 0,419 л водорода и 0,2987 г или 0,2095 л кислорода, при условии полного использования тока на основной процесс, [6]. Количество водорода (V_H , м³), выделяющегося в электролизере, состоящем из n ячеек, за время (t , ч) при силе тока (I , А) и выходе по току η , определяется по формуле:

$$V_H = 0,419 \cdot 10^{-3} \cdot I \cdot n \cdot t \cdot \eta . \quad (1)$$

По аналогии определяется масса выделившегося водорода, кг:

$$m_H = 0,0373 \cdot 10^{-3} \cdot I \cdot n \cdot t \cdot \eta . \quad (2)$$

Процесс электролиза воды в аккумуляторной батарее, состоящей из n элементов по 2 В, протекает аналогично.

Следует отметить, что не весь ток, подаваемый при заряде на АКБ, идет на электрохимическое разложение воды. До тех пор, пока на пластинах находится серноокислый свинец, подаваемый ток идет на изменение химического состояния пластин и только после завершения этого процесса – на электрохимическое разложение воды электролита на ее составные части.

В формулах (1, 2) произведение $I \cdot t$ фактически является емкостью перезаряда $C_{пер}$ и физически равно количеству электричества, расходуемого на электролиз воды и перемешивание электролита до восстановления его плотности до постоянного значения. Таким образом, емкость перезаряда представляет собой разность емкости, полученной при заряде C_3 , и емкости, израсходованной при разряде C_p .

$$C_{пер} = C_3 - C_p.$$

Тогда, масса водорода m_H (кг), выделившаяся при заряде, с учетом [6], составит:

$$m_H = 0,0373 \cdot 10^{-3} \cdot C_{пер} \cdot n \cdot \eta .$$

При эксплуатации, для того, чтобы увеличить длительность службы АКБ, рекомендуется не разряжать батарею более чем на 80 % от ее номинальной емкости ($k_p = 0,8$) [7]. Тогда емкость, полученная от аккумуляторной батареи при разряде C_p , будет вычисляться по формуле:

$$C_p = k_p \cdot C_5 = 0,8 \cdot C_5 ,$$

где C_5 – номинальная емкость, А·ч.

Номинальная емкость – величина, заявленная производителем, которая определяется при температуре аккумулятора 30 °С, времени разряда 5 ч до конечного разрядного напряжения $U = 1,70$ В на аккумулятор [8].

Зарядная емкость аккумулятора – характеризует количество электричества, полученное аккумулятором в процессе заряда. С целью полного использования активной массы пластин заряд аккумулятора продолжают 1-2 часа при сильном газовыделении, уменьшив ток в 2-3 раза. Эта область перезаряда необходима для полной уверенности, что аккумуляторная батарея полностью заряжена. Как правило, не более 85 % этого электричества может быть запасено в батарее, а остальное расходуется на тепло и газовыделение в процессе электролиза [9]. КПД аккумулятора по емкости – это отношение разрядной емкости к зарядной. У современных аккумуляторов КПД по емкости равно 0,85.

Величина, обратная КПД по емкости – коэффициент перезаряда $k_{пер}$ – это отношение числа А·ч, восстановленных во время заряда к числу А·ч, израсходованных при разряде [7]
 $k_{пер} = C_3 / C_p = 1/0,85 = 1,17 \approx 1,2$. Более точные значения коэффициента перезаряда аккумулятора $k_{пер}$ по ГОСТ Р 52846-2007 [8]:

- 1,15 – для АКБ высотой от 300 до 510 мм;
- 1,25 – для АКБ высотой от 510 до 700 мм;
- 1,05 – для АКБ с перемешиванием электролита.

Тогда емкость, сообщаемая аккумуляторной батарее при заряде $C_3 = k_{пер} \cdot C_p$.
 Учитывая изложенное:

$$C_{пер} = C_3 - C_p = k_{пер} \cdot C_p - C_p = k_p \cdot C_5 \cdot (k_{пер} - 1), \quad (3)$$

где C_5 – номинальная емкость АКБ, величина по паспорту завода-изготовителя, А·ч;
 k_p – коэффициент, учитывающий степень разряда АКБ, рекомендуемая величина $k_p = 0,8$;
 $k_{пер}$ – коэффициент перезаряда АКБ, по умолчанию принимается максимальное значение $k_{пер} = 1,25$.

С учетом изложенного формула (2) примет вид:

$$m_H = 0,0373 \cdot 10^{-3} \cdot k_p \cdot C_5 \cdot (k_{пер} - 1) \cdot n \cdot \eta, \quad (4)$$

где m_H – масса водорода, выделившегося при заряде АКБ, кг;
 0,0373 г – масса водорода, выделившегося при прохождении 1 А·ч электричества;
 n – количество в АКБ элементов по 2 В;
 η – коэффициент использования тока непосредственно на электролиз воды. При пренебрежении потерями по току $\eta=1$.

С учетом принятых коэффициентов масса водорода (m_H , кг), выделившаяся в помещении при заряде, составит:

– для АКБ высотой от 300 до 510 мм:

$$m_H = 4,47 \cdot 10^{-6} \cdot C_5 \cdot n; \quad (5)$$

– для АКБ высотой от 510 до 700 мм:

$$m_H = 7,48 \cdot 10^{-6} \cdot C_5 \cdot n; \quad (6)$$

– для АКБ с перемешиванием электролита:

$$m_H = 1,49 \cdot 10^{-6} \cdot C_5 \cdot n. \quad (7)$$

Аналогично с учетом введения коэффициента, учитывающего влияние температуры окружающей среды $(1 + 0,00367 \cdot t_p)$ формула (1) примет вид:

$$V_H = 0,419 \cdot 10^{-3} \cdot (1 + 0,00367 \cdot t_p) \cdot k_p \cdot C_5 \cdot (k_{пер} - 1) \cdot n \cdot \eta, \quad (8)$$

где 0,00367 град⁻¹ – коэффициент температурного расширения газа;

$t_p = 37 \text{ }^\circ\text{C}$ – максимальная расчетная температура для объектов, расположенных на территории Республики Беларусь [10].

С учетом принятых коэффициентов и выполнения соответствующих преобразований, объем водорода ($V_H, \text{ м}^3$), выделившийся в помещение при заряде, определяется по формуле:
– для АКБ от 300 до 510 мм:

$$V_H = 57,10 \cdot 10^{-6} \cdot C_5 \cdot n; \quad (9)$$

– для АКБ высотой от 510 до 700 мм:

$$V_H = 95,17 \cdot 10^{-6} \cdot C_5 \cdot n; \quad (10)$$

– для АКБ с перемешиванием электролита:

$$V_H = 19,03 \cdot 10^{-6} \cdot C_5 \cdot n. \quad (11)$$

В приведенных формулах значение n – количество в АКБ элементов по 2В – можно представить как $n = U / 2$, где U – полное напряжение аккумуляторной батареи, полученное последовательным соединением аккумуляторных батарей напряжением по 2 В, установленных в общем корпусе и представляющем собой стандартное типовое решение завода-изготовителя.

В качестве примера произведем вычисление количества водорода, выделившегося в помещение при заряде аккумуляторной батареи типа 6 PzS 540 от зарядного устройства типа D 48/90 для штабеллера GX 10 STILL.

В соответствии с Разд. VII, гл. 3, прим. 1 Пособия к НПБ 5-2000 ч. 1 [3], масса поступившего в помещение водорода составит $m = 321,6$ г. Без учета допущения, что наибольшее значение зарядного тока превышает в четыре раза максимальный зарядный ток, значение массы водорода составит $m = 80,4$ г.

По формуле (2) ТКП 130-2008 масса водорода составит $m = 42,72$ г.

По предложенной методике по формуле (5) масса водорода составит $m = 57,94$ г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ показывает на ограниченный характер применения методики ТКП 130-2008 в приведенной редакции. Полученное значение массы водорода явно занижено.

Методика Пособия [3] физически обоснована, но не учитывает технологию зарядки аккумуляторных батарей, при этом возникают трудности с определением значений исходных данных. Полученный конечный результат может быть оправдан при наличии отступлений от инструкций завода изготовителя, приводящих к аварийным режимам работы.

Значение массы водорода определенное по формуле (5), позволяет определить количество водорода, выделившееся за весь период газообразования до достижения постоянного напряжения батареи и плотности электролита, при отсутствии информации о зарядных токах, исходя только из маркировки АКБ.

При наличии инструкции по эксплуатации для конкретной АКБ и известных параметрах зарядных токов второй ступени заряда $I = 0,05 \cdot C_5$ по формуле (2) предложенной методики можно определить более точное значение массы выделившегося водорода за определенное время (t , ч).

Предложенные формулы для определения объема и массы водорода при заряде АКБ рекомендуются для использования при определении категорий помещений по взрывопожарной и пожарной опасности и классов зон по ПУЭ.

ЛИТЕРАТУРА

1. НПБ 5-2005. Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
2. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). – М. : Энергоатомиздат, 1986.
3. Пособие к нормам пожарной безопасности Республики Беларусь «Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. НПБ 5-2000». Часть 1.
4. ТКП 130-2008 (02230). Категории помещений и зданий энергетических объектов по взрывопожарной и пожарной опасности. Правила расчета.
5. Sombor manual [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.hit-com.ru/files_out/manual/sombor_manual.pdf Дата доступа: 27.04.2012
6. Л.М. Якименко, И.Д. Модылевская, З.А. Ткачек. Электролиз воды. – М. : Химия, 1970. – 264 с.
7. ООО «Гермес». Функционирование, использование и обслуживание тяговых свинцово-кислотных аккумуляторных батарей. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.germess.ru/UserFiles/File/Doki/Uchebник_po_batareyam.pdf Дата доступа: 27.04.2012
8. ГОСТ Р 52846-2007. Батареи аккумуляторные свинцовые тяговые. Часть 1. Основные требования и методы испытаний.
9. Про аккумуляторы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.motorcyclespb.ru/faq/faq010.html> Дата доступа: 05.12.2012
10. СНБ 2.04.02-2000. Строительная климатология.