

## О ПОТЕРЯХ МОЩНОСТИ В АЛЮМИНИЕВЫХ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРАХ

*Махлин П. В., к.т.н., доц.*

*Запорожский национальный технический университет*

*69063, г. Запорожье, ул. Жуковского, 64*

*E-mail: zap@zntu.edu.ua*

Запропонована методика експериментально-розрахункового визначення втрат потужності в анодній ошиновці алюмінієвого електролізера, що виникають при відхиленні її параметрів від нормованих значень. Проведені дослідження додаткових втрат потужності електроенергії в робочому електролізері за рахунок відхилення параметрів анодної ошиновки від нормованих значень.

**Ключові слова:** алюмінієвий електролізер, анодна ошиновка, втрати потужності електроенергії.

The method of experimentally-calculation determination of losses of power is offered in anode jumper aluminium elektrolizera arising up at deviation of its parameters from the rationed values. Researches of additional losses of power of electric power are conducted in worker of elektrolizere due to deviation of parameters of anodal oshinovki from the rationed values.

**Key words:** aluminium elektrolizer, anode jumper, losses of electric power.

**Введение.** Производство алюминия является очень энергоемким процессом и затраты на электроэнергию в значительной степени влияют на себестоимость выпускаемой продукции. Поэтому проблема снижения энергозатрат является актуальной. При существующей технологии производства алюминия потребление электрической энергии можно снизить путем уменьшения ее потерь в элементах конструкции электролизера.

**Анализ предыдущих исследований.** В [1, 2] состояние анодной ошиновки у находящихся в эксплуатации электролизеров оценивается путём определения электрического баланса, но это не дает возможности определить потери мощности электрической энергии.

**Цель работы** - разработка методики исследования потерь мощности в анодной ошиновке электролизеров с боковым токоподводом.

**Материал и результаты исследования.** Анодная ошиновка представляет собой сложную разветвленную цепь с множеством контактных соединений [3]. Токораспределение по каждой электрической цепи зависит от многих факторов. Так как все электролизеры одной серии (получающие питание от одной системы шин) соединены между собой последовательно, то ток в каждой цепи анодной ошиновки в значительной степени зависит от токораспределения в электрической цепи предыдущих электролизеров и шинопроводов, их соединяющих. Рассмотреть всю электрическую цепь серии, состоящую из 152 алюминиевых электролизеров, затруднительно,

поэтому определение потерь мощности электрической энергии в анодной ошиновке рассмотрено для отдельного электролизера. Потери мощности в анодной ошиновке возникают ввиду увеличенного сопротивления контактных соединений и неравномерности токораспределения.

Определение дополнительных потерь мощности, возникающих за счет вышеуказанных факторов, рассмотрено при сравнении с потерями мощности в алюминиевом электролизере, у которого параметры анодной ошиновки соответствуют нормируемым значениям (с номинальными параметрами). При этом для таких электролизеров введены следующие допущения:

1) активные сопротивления элементов анодной ошиновки: анодной шины, анодного стояка, анодного спуска (без контактных соединений) определяются расчетным путем с учетом температуры нагрева;

2) активные сопротивления контактных соединений определены как отношение нормируемого значения падения напряжения на рассматриваемом контактном соединении к току, протекающему через него;

3) потенциалы всех анодных стержней принимаются одинаковыми;

4) токораспределение по анодным спускам зависит только от параметров анодной ошиновки рассматриваемого электролизера.

Такие допущения позволяют представить схему замещения анодной ошиновки в виде, показанном

на рис. 1. При этом неравномерность распределения токов по анодным спускам имеет место только за счет различной длины участков анодной шины.

В процессе эксплуатации алюминиевых электролизеров ухудшаются контактные соединения от-

дельных элементов анодной ошиновки, увеличиваются их активные сопротивления и повышается степень неравномерности токораспределения по анодным спускам. При этом, как следствие, возрастают потери мощности в анодной ошиновке.

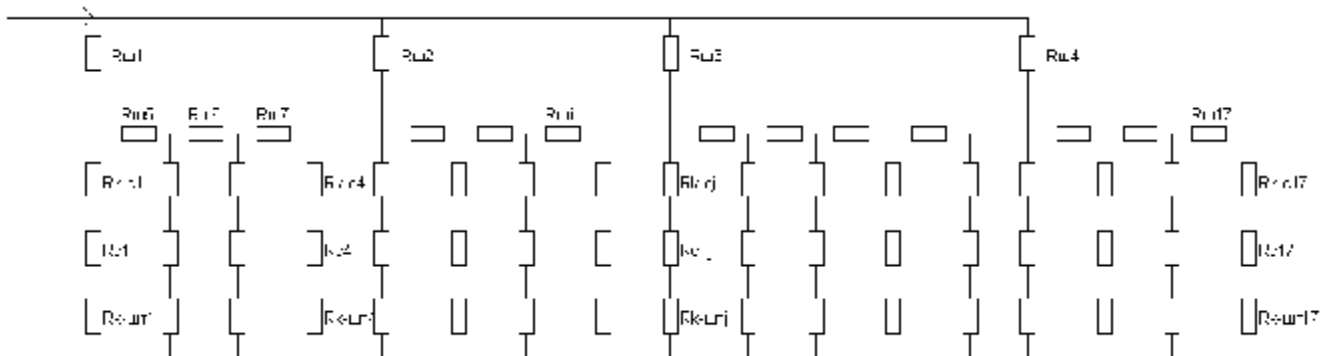


Рисунок 1 – Схема замещения анодной ошиновки электролизера:

$R_{ш1} \dots R_{шi} \dots R_{ш17}$  - сопротивления участков анодных шин;

$R_{k-c1} \dots R_{k-cj} \dots R_{k-c17}$  - сопротивления контактных соединений анодная шина-анодный спуск;

$R_{c1} \dots R_{cj} \dots R_{c17}$  - сопротивления анодных спусков;

$R_{л-шт1} \dots R_{к-штj} \dots R_{к-шт17}$  - суммарное сопротивления анодных стержней и контактных соединений анодный спуск – анодный стержень

Так, в каждом ( $i$ -ом) элементе анодной ошиновки потери мощности составляют:

$$P_{ин} + \Delta P_i = (U_i \pm \Delta U_i)(I_i \pm \Delta I_i), \quad (1)$$

где  $P_{ин}$  - потери мощности электрической энергии в  $i$ -ом элементе анодной ошиновки с номинальными параметрами;

$$P_{ин} = U_i I_i, \quad (2)$$

$U_i, I_i$  - напряжение и ток, протекающий в данном узле анодной ошиновки с номинальными параметрами;  $\Delta U_i, \Delta I_i$  - значение увеличения падения напряжения и изменения тока в  $i$ -ом узле анодной ошиновки с ухудшенными параметрами;  $\Delta P_i$  - увеличение потерь мощности в анодной ошиновке с ухудшенными параметрами.

Из (1) и (2) определяются дополнительные потери мощности в анодной ошиновке с ухудшенными параметрами:

$$\Delta P_i = P_i \left( \pm \frac{\Delta I_i}{I_i} \pm \frac{\Delta U_i}{U_i} \pm \frac{\Delta U_i \Delta I_i}{U_i I_i} \right). \quad (3)$$

Определение токов в узлах анодной ошиновки с номинальными параметрами производится на основе схемы замещения. Учитывая, что конструкция анодной ошиновки на тыльной и лицевой сторонах электролизера идентична, то по каждой из сторон в

номинальном режиме будет протекать ток  $0,5 I_c$  (где  $I_c$  - ток серии алюминиевых электролизеров). Заменяя сопротивления элементов ошиновки, подключенных к каждой  $j$ -ой анодной шине (рис. 1) через суммарное сопротивление  $R_{\Sigma j}$ , получаем по четыре параллельно включенных сопротивления для лицевой и тыльной сторон электролизера. В этом случае ток, протекающий по каждой ( $j$ -ой) анодной шине, определяется выражением:

$$I_j = \frac{I_c}{2R_{\Sigma j} \sum_{j=1}^n \frac{1}{R_{\Sigma j}}}, \quad (4)$$

где  $R_{\Sigma j}$  - суммарное сопротивление элементов анодной ошиновки, подключенных к  $j$ -ой анодной шине, и самой  $j$ -ой анодной шины,  $n$  - количество анодных шин на лицевой (тыльной) стороне электролизера ( $n=4$ ).

Ток на первом анодном спуске  $j$ -ой анодной шины определяется выражением:

$$I_{c1j} = \frac{I_j (R_{\Sigma j} - R_{шj1})}{R_{1j}}, \quad (5)$$

где  $R_{шj1}$  - сопротивление  $j$ -ой анодной шины на участке до точки подключения первого анодного спуска,  $R_{1j}$  - сумма сопротивлений первого анодного

спуска, анодного стержня и переходных контактных сопротивлений по цепи первого анодного спуска (рис. 1).

Затем определяется ток, протекающий на втором анодном спуске:

$$I_{c2j} = \frac{(I_j - I_{c1j})}{R_{2j}} R_{э2j}, \quad (6)$$

где  $R_{2j}$  - сумма сопротивлений второго анодного спуска, анодного стержня и переходных контактных сопротивлений по цепи второго анодного спуска (рис.1).

$R_{э2j}$  - эквивалентное сопротивление элементов, подключенных к j-ой анодной шине на участке после подключения второго анодного спуска.

Токи, протекающие по другим анодным спускам, определяются аналогично. После этого рассчитываются потери мощности на каждом элементе анодной ошиновки и в анодной ошиновке в целом:

$$P_H = \sum_{i=1}^n I_{эли} R_{эли}, \quad (7)$$

где  $I_{эли}$ ,  $R_{эли}$  - ток, протекающий по i-ому элементу анодной ошиновки, и активное сопротивление этого элемента.

Потери мощности на каждом элементе анодной ошиновки работающего электролизера определяются на основе экспериментального получения данных:

$$P_{рабi} = I_{эли} U_{эли}, \quad (8)$$

где  $U_{эли}$ ,  $I_{эли}$  - падение напряжения и ток на элементе анодной ошиновки. Падение напряжения  $U_{эли}$  определяется экспериментально - путем проведения замеров.

Для определения тока, протекающего по анодному спуску, введено следующее допущение: сопротивления всех анодных спусков на участках одинаковой длины жесткой медной шины принимаются одинаковыми ( $R_c$ ). В этом случае указанный участок можно рассматривать как шунт для определения тока, а его сопротивление определяется по данным измерений из соотношения:

$$I_c = \sum_{i=1}^n I_i = \sum_{i=1}^n \frac{U_{ci}}{R_c} = \frac{1}{R_c} \sum_{i=1}^n U_{ci}, \quad (9)$$

где  $U_{ci}$  - экспериментально определенное падение напряжения на вышеуказанном участке анодного спуска, n – число анодных спусков на рассматриваемом электролизере.

Из (9) определяется сопротивление участка анодного спуска:

$$R_c = \sum_{i=1}^n U_{ci} / I_c, \quad (10)$$

а затем ток в каждом анодном спуске:

$$I_c = \frac{U_{ci}}{R_c}. \quad (11)$$

На остальных элементах анодной ошиновки, последовательно соединенных с участком анодного спуска, протекает тот же ток. На участках анодной шины ток определяется путем суммирования токов соответствующих анодных спусков в соответствии с первым законом Кирхгофа.

Исследования проведены на электролизерах с боковым токоподводом, которые находятся в электролизном цехе Запорожского алюминиевого комбината. Система анодных шин состоит из четырех алюминиевых шин с каждой (лицевой и тыльной) стороны. На торцевых сторонах электролизера анодных стержней нет. К трем анодным шинам подключаются по четыре анодных спуска, а к одной - пять. В таблице приведены результаты определения потерь мощности в анодной ошиновке электролизеров с отклонениями параметров контактных соединений от нормированных значений и проведено сравнение с режимом работы номинального электролизера. Определены также суммарные значения увеличения потерь мощности в узлах анодной ошиновки в абсолютных ( $\Delta P$ ) относительных ( $\Delta P^*$ ) единицах:

$$\Delta P = P_{раб} - P_H, \quad (12)$$

$$\Delta P^* = \frac{\Delta P}{P_H} 100\%. \quad (13)$$

В последней строчке таблицы приведено суммарное значение увеличения затрат мощности в анодной ошиновке по отношению к мощности, потребляемой электролизером.

Из таблицы видно, что в узлах анодной ошиновки имеют место увеличенные затраты мощности электрической энергии. Причем на анодных шинах и анодных спусках увеличение потерь мощности происходит за счет увеличения степени неравномерности токораспределения, а в контактных соединениях – в основном из-за увеличения сопротивления контактных соединений. Как видно из таблицы, исследуемый электролизер потребляет на 1% больше электрической энергии по сравнению с электролизером с номинальными параметрами анодной ошиновки.

### Выводы.

1. Предложена методика экспериментально-расчетного определения потерь мощности в ошиновке электролизера.

2. Проведенные исследования потерь мощности в анодной ошиновке алюминиевых электролизерах показали, что при нарушении контактных соединений могут существенно увеличиваться потери

мощности и тем самым увеличивается энергоёмкость производства алюминия.

3. Предложенная методика позволяет периодически проводить контроль увеличения потерь мощности в анодной ошиновке электролизера и тем самым оценить необходимость проведения мер для снижения сопротивлений контактных соединений для каждого электролизера.

**Таблица 1 - Потери мощности на анодной ошиновке электролизера**

| Узел анодной ошиновки                 | $P_{ном}$ , Вт | $P_{раб}$ , Вт | $\Delta P$ , Вт | $\Delta P^*$ |
|---------------------------------------|----------------|----------------|-----------------|--------------|
| Контакт анодный стояк - анодная шина  | 630            | 1246           | 616             | 97,8         |
| Анодная шина                          | 3118           | 3386           | 268             | 9,0          |
| Контакт анодная шина - анодный спуск  | 838            | 1880           | 1042            | 124,0        |
| Анодный спуск                         | 5190           | 6203           | 1013            | 19,5         |
| Контакт анодный спуск - анодный штырь | 1049           | 1214           | 165             | 16,0         |
| Затраты мощности в анодной ошиновке   | 10825          | 13929          | 3104            | 28,7         |
| Мощность потребляемая электролизером  | 308000         |                | 3104            | 1,0          |

### ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник металлурга по цветным металлам. Производство алюминия /Под ред. Ю. В. Баймакова, Я. Е. Конторовича. М.: Металлургия, 1971.-560 с.

2. Криворученко В. В., Коробов М. А. Тепловые и энергетические балансы электролизеров. М.: Металлургия, 1963.-310 с.

3. Курохтин А. Н. Электролизеры с боковым токоподводом и их обслуживания. М.: Металлургия, 1973. -144с.

Стаття надійшла 8.04.2008 р.  
Рекомендовано до друку д.т.н., проф.  
Родькіним Д.Й.