

УДК 004.9: 669.713

І.С. ДМИТРИЄВА, С.А. СМОЛЯНОВ
Национальная металлургическая академия Украины**ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ АЛЮМИНИЕВОГО
ЭЛЕКТРОЛИЗЕРА**

В данной работе рассмотрена задача расчета алюминиевого электролизера с самообжигающимся анодом и верхней подачей тока. Средой разработки был выбран App Designer, из-за его простого синтаксиса и удобства построения пользовательского интерфейса. С помощью данного программного продукта реализовано приложение для расчета всех ключевых параметров электролизера, распределены все данные по вкладкам для удобства дальнейшего исследования, реализована возможность построения зависимости и т.д.

Ключевые слова: электролизер, первичный алюминий, App Designer.

І.С. ДМИТРИЄВА, С.О. СМОЛЯНОВ
Національна металургійна академія України**ДОДАТОК ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ АЛЮМІНІЄВОГО ЕЛЕКТРОЛІЗЕРУ**

У роботі розглянуто задачу розрахунку алюмінієвого електролизера з самовипаленим анодом і верхньою подачею струму. Середовищем розробки був обраний App Designer, через його простий синтаксис і зручність побудови призначеного для користувача інтерфейсу. За допомогою даного програмного продукту реалізовано додаток для розрахунку всіх ключових параметрів електролизера, розподілені всі дані по вкладках для зручності подальшого дослідження, реалізована можливість побудови залежності і т.ін.

Ключові слова: електролізер, первинний алюміній, App Designer

І.С. ДМИТРИЄВА, С.О. СМОЛЯНОВ
National Metallurgical Academy of Ukraine**APPLICATION FOR CALCULATING THE PARAMETERS OF THE ALUMINUM
ELECTROLYSIS CELL**

The method of obtaining aluminum by electrolysis was developed in 1886 and is still in use. With the advent of this method, the market prices for aluminum fell tens of times, which made it possible to use aluminum much more widely. The production of primary aluminum (pure metal) is more laborious and complex, compared to other metals, since its ores have a very high melting point (nifelin, corundum, bauxite and others). Substitution in conjunction with carbon is also not used, since the recovery factor of aluminum is higher than that of carbon. Now the method of intermediate substitution with decomposition at a temperature of 2000 degrees is actively being developed, but it is still a future technology not used in the actual production of primary aluminum. Unlike iron, aluminum is not corroded, so it can be melted down and used metal endlessly. At the same time, aluminum processing requires only 5% of the energy expended for the production of aluminum for the first time. In view of the above, the problem arises of calculating all the key parameters of an aluminum cell for a given input conditions (current strength, furnace dimensions, its productivity, electrical calculations, etc.). In this paper, we consider the problem of calculating an aluminum electrolytic cell with a self-burning anode and an upper current supply.

Lining of electrolysis baths is made of carbon-containing materials. On the bottom of the bath, a layer of liquid aluminum accumulates, and above it is a layer of electrolyte. Above the bath is installed an anode, which is partially immersed in the electrolyte. The role of the cathode is molten aluminum. The electrolyte is a molten cryolite in which alumina is dissolved. The electrolyte also contains fluorides and a number of oxides that enter into it with the starting products. The temperature of the electrolysis process is about 950-965 °C

The development environment was chosen App Designer, because of its simple syntax and the convenience of building a user interface. With the help of this software the application for calculating all the key parameters of the electrolytic cell, all the data on the tabs are distributed for convenience of further research, the possibility of constructing the dependency, etc. is implemented.

Keywords: electrolytic cell, primary aluminum, App Designer.

Постановка проблемы

Алюминий в чистом виде в природе не встречается, именно поэтому еще 200 лет назад человечество ничего не знало об этом металле. Метод получения алюминия методом электролиза был разработан в 1886 году и применяется до сих пор. С появлением этого способа рыночные цены на алюминий упали в десятки раз, что позволило применять алюминий гораздо шире. Ведущие предприятия производители алюминия в мире представлены в таблице 1.

Таблиця 1

Ведущие предприятия производители алюминия в мире

Место	Название компании	Страна	Объем производства алюминия, тыс. тонн в год
1	Объединённая компания "Российский алюминий", UC RUSAL	Россия	4157
2	Alcoa Inc.	США	3969
3	Alcan	Канада	3455
4	Aluminum Corporation of China Limited, CHALCO	Китай	2034
5	Årdal og Sunndal Verk, ASV (Hydro Aluminium)	Норвегия	1576
6	BHP Billiton	Австралия	1349
7	Dubai Aluminium Company Limited (DUBAL)	ОАЭ	872
8	Rio Tinto	Великобритания, Австралия	872
9	Aluminium Bahrain B.S.C. (Alba)	Бахрейн	860
10	Century Aluminum	США	741

Получение первичного алюминия (чистого металла) является более трудоемким и сложным, в сравнении с другими металлами, так как его руды обладают очень высокой температурой плавления (нифелины, корунд, бокситы и другие). Замещение в соединении с углеродом так же не применяется, так как коэффициент восстановления алюминия выше, чем у углерода. Сейчас активно разрабатывается способ промежуточного замещения с разложением при температуре 2000 градусов, но это пока что будущая технология, не применяемая в реальном производстве первичного алюминия. В отличие от железа, алюминий не подвержен коррозии, поэтому изделия из него можно переплавлять и использовать металл бесконечное количество раз. При этом переработка алюминия требует всего 5% энергии, затраченной на изготовление алюминия впервые. В виду выше сказанного появляется задача о расчете всех ключевых параметров алюминиевого электролизера при заданных входных условиях (сила тока, размеры печи, ее производительность, электрические расчеты и т.д.). В данной работе будет рассмотрена задача расчета алюминиевого электролизера с самообжигающимся анодом и верхней подачей тока.

Анализ последних достижений и публикаций

С 1886 года исследования в этой области велись очень активно и продолжают проводиться. Для разработки приложения основные параметры электролизера, формулы для расчета и прочие зависимости были взяты из монографии коллектива авторов Киевской политехники [1]. В монографии был рассмотрен ряд алюминиевых печей: электролизер с самообжигающимся анодом с боковым подводом тока, электролизер с самообжигающимся анодом с верхним подводом тока, электролизер с обожженным анодом; решены задачи о производительности печей, о преимуществах и недостатках в конструктивном плане и прочие вопросы.

Цель исследования

Цель исследования заключалась в изучении процесса производства и построении программы в среде App Designer с пользовательским интерфейсом, реализующей расчет производительности алюминиевого электролизера с верхним подводом тока для анализа зависимостей получаемого алюминия от входной силы тока.

Изложение основного материала исследования**Расчет параметров алюминиевого электролизера**

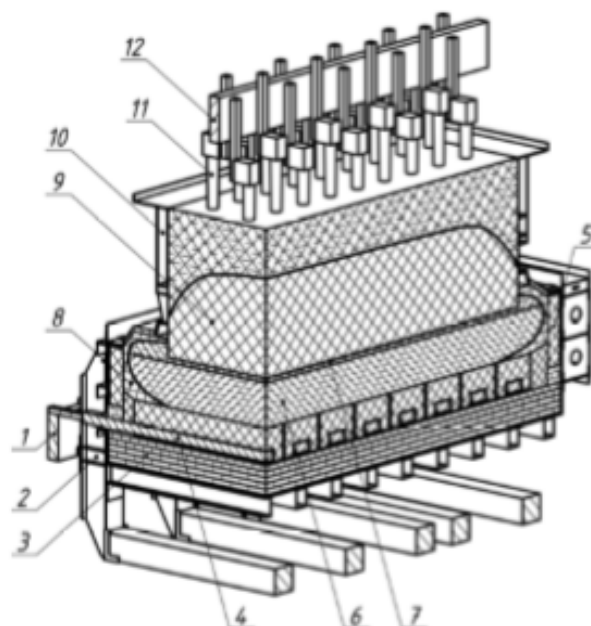
Алюминий электролитическим способом производится из криолито-глиноземных расплавов в специальных ваннах, которые называются электролизерами. Футеровку электролизных ванн изготавливают из углеродсодержащих материалов. На подине ванны накапливается слой жидкого алюминия, а над ним находится слой электролита. Сверху на ванну установлен анод, который частично погружен в электролит. В роли катода выступает расплавленный алюминий. Электролит представляет собой расплавленный криолит, в котором растворен глинозем – Al_2O_3 . В состав электролита также входят фториды и целый ряд оксидов, которые поступают в него с исходными продуктами. Температура процесса электролиза составляет примерно 950–965 °С [2]. На рисунке 1 показано строение электролизера с верхним подводом тока.

Одним из ключевых параметров электролизера, которым можно легко варьировать, является сила тока. Поэтому решим задачу относительно этой переменной.

Определим размеры основных элементов электролизера.

Площадь сечения анода $S_a = \frac{I}{i_a}$, где I – сила тока, А; i_a – анодная плотность тока, А см. Принимаем

ширину анода $B_a = 275$ см, тогда его длина будет равна $L_a = \frac{S_a}{B_a}$.



1 – катодная шина; 2 – контрфорсный катодный кожух; 3 – цокольная футеровка; 4 – подовая секция;
5 – бортовой блок; 6 – металл; 7 – электролит; 8 – гарнисаж и настель; 9 – самообжигающийся анод;
10 – анодный кожух; 11 – штырь; 12 – анодная шина

Рис. 1. Электролизер СА с верхним подводом тока (С8-БМ) на силу тока 156-165кА

Высота анода складывается из высоты конуса спекания и коксопековой композиции $H_a = h_k + h_{кнк}$.

Размеры шахты получаем из размеров (длины и ширины) анода и расстояния до стен боковой футеровки электролизёра: длина шахты определяется: $L_{ш} = L_a + 2d$, ширина шахты ванны: $B_{ш} = B_a + 2c$.

Далее определим основные параметры выхода продуктов электролиза:

1. Алюминий: $P_{Al} = 0.336 \cdot I \cdot \eta \cdot 10^{-3}$ (кг/час), где I - сила тока; η - выход по току; 0.336 - электрохимический эквивалент алюминия.

2. Анодные газы (CO_2 – 60%, CO – 40%)

$$M_{CO} = \frac{N_{CO}}{2 - N_{CO}} \cdot \frac{P_{Al}}{18}, P_{CO} = M_{CO} \cdot 28 \text{ (кг/ч)}$$

$$M_{CO_2} = \frac{N_{CO_2}}{2 - N_{CO_2}} \cdot \frac{P_{Al}}{18}, P_{CO_2} = M_{CO_2} \cdot 44 \text{ (кг/час)}$$

3. Механические потери углерода $\Delta P_C = P_{ан.масса} - (M_{CO} + M_{CO_2})$ (кг/час)

4. Потери глинозема $\Delta P_r = P_r - 1.89 \cdot P_{Al}$ (кг/час)

На практике электролиза принято различать 3 вида напряжений: греющее, рабочее и среднее напряжение. Греющее напряжение включает в себя падение напряжения во всех греющих элементах электрической цепи электролизера. Обязательно включает в себя практическое напряжение разложения глинозема и падения напряжения от анодных эффектов:

$$U_{гр} = E_p + \Delta U_{эл} + \Delta U_a + \Delta U_k + \Delta U_{а.э},$$

где E_p – напряжение разложения;
 $\Delta U_{эл}$ – падение напряжения в электролите;
 ΔU_a – падение напряжения в анодном устройстве;
 ΔU_k – падение напряжения в катодном устройстве;
 $\Delta U_{а.э}$ – падение напряжения за счет анодных эффектов.

Рабочее напряжение состоит из греющего и падения напряжения в элементах, которые находятся вне системы, огражденной теплоотдающими поверхностями, но относятся к данному электролизеру.

$$U_{раб.} = E_p + \Delta U_{эл} + \Delta U_a + \Delta U_k + \Delta U_{ош},$$

где $U_{ои}$ – падение напряжения в ошиновке.

Среднее напряжение включает в себя все виды падения напряжения, в том числе повышение напряжения от анодных эффектов и падение напряжения в общесерийной ошиновке:

$$U_{cp.} = E_p. + \Delta U_{эл.} + \Delta U_a. + \Delta U_k. + \Delta U_{ои.} + \Delta U_{а.э.} + \Delta U_{с.},$$

где ΔU_c – падение напряжения в общесерийной ошиновке.

Тепловой баланс электролизера.

Задачей составления теплового баланса является определение прихода и расхода энергии, а также нахождение распределения расхода по отдельным статьям.

Расчет ведем при температуре окружающей среды (25 °С). В этом случае электролизер можно представить как систему, которая проводит тепло, выделяющееся при прохождении электрического тока и сгорании углерода, составляющего анод. Это тепло расходуется на разложение глинозема и компенсацию тепла, уносимого из системы образующимися продуктами электролиза, а также теряемого системой через ограждающие, теплоотдающие поверхности.

Рассчитаем следующие статьи прихода и расхода энергии:

1. Приход тепла от электроэнергии $Q_{эл.} = 0,86 \cdot I \cdot U_{cp.}$, где 0,86 – тепловой эквивалент, ккал/Вт·ч
2. Приход тепла от сгорания углерода, составляющего анод

$$Q_{np.} = Q_{эл.} + Q_{ан.},$$

где $Q_{ан.} = P_{CO_2} \cdot \Delta H_{298}^{CO_2} + P_{CO} \cdot \Delta H_{298}^{CO}$

P_{co} и P_{co_2} – число киломолей в час CO и CO₂ ;

$\Delta H_{298}^{CO_2}$ и ΔH_{298}^{CO} – тепловые эффекты реакций образования двуокиси и окиси углерода при t = 25 °С (298 К).

3. Расход тепла на разложение глинозема:

$$Q_{эл.} = P_{Al_2O_3} \cdot \Delta H_{298}^{Al_2O_3},$$

где $\Delta H_{298}^{Al_2O_3} = 400000$ ккал/Кмоль;

$$P_{Al_2O_3} = \frac{I \cdot \eta \cdot 10^{-3}}{6 \cdot F};$$

F = 26,8 А·ч – число Фарадея.

4. Унос тепла с отходящими газами

$$Q_{газ.} = P_{CO_2} \cdot \Delta \gamma^{CO_2} + P_{CO} \cdot \Delta \gamma^{CO},$$

где $\Delta \gamma^{CO_2} = 5738$ ккал/ч

$$\Delta \gamma^{CO} = 3829 \text{ ккал/ч}$$

5. Унос тепла с выливаемым алюминием:

$$Q_{ме.} = P_{Al} \cdot (\gamma_{T_1}^{Al} - \gamma_{T_2}^{Al}),$$

где $\gamma_{T_1}^{Al} - 10457$ (ккал/кмоль)

$$\gamma_{T_2}^{Al} - 1603$$
(ккал/кмоль)

6. Потери тепла в окружающее пространство конструкционными элементами электролизера.

$$Q_{np.} = (Q_{эл.} + Q_{ан.}) - (Q_{газ.} + Q_{ме.} + Q_{газ.}).$$

После расчета тестового примера было разработано приложение в среде App Designer, которое реализует все приведенные выше расчеты и пользовательский интерфейс с возможностью построения графиков различных зависимостей.

App Designer - это среда для создания и разработки приложений, представленная в версии P2016a. Имеет большой набор элементов управления: кнопки, датчики, выпадающие списки, регуляторы, переключатели, таблицы и т.д. Синтаксис App Designer максимально схож с синтаксисом MATLAB [3].

На рисунках 2-5 показана реализация всего алгоритма в виде пользовательского интерфейса.



Рис. 2. Конструктивный расчет электролизера СА с верхним подводом тока



Рис. 3. Материальный расчет электролизера СА с верхним подводом тока



Рис. 4. Электрический расчет электролизера СА с верхним подводом тока



Рис. 5. Тепловой баланс электролизера СА с верхним подводом тока

В App Designer есть возможность регулирования построения графиков с помощью переключателя Кноп. Реализацию такой возможности можно увидеть на рисунке 6.

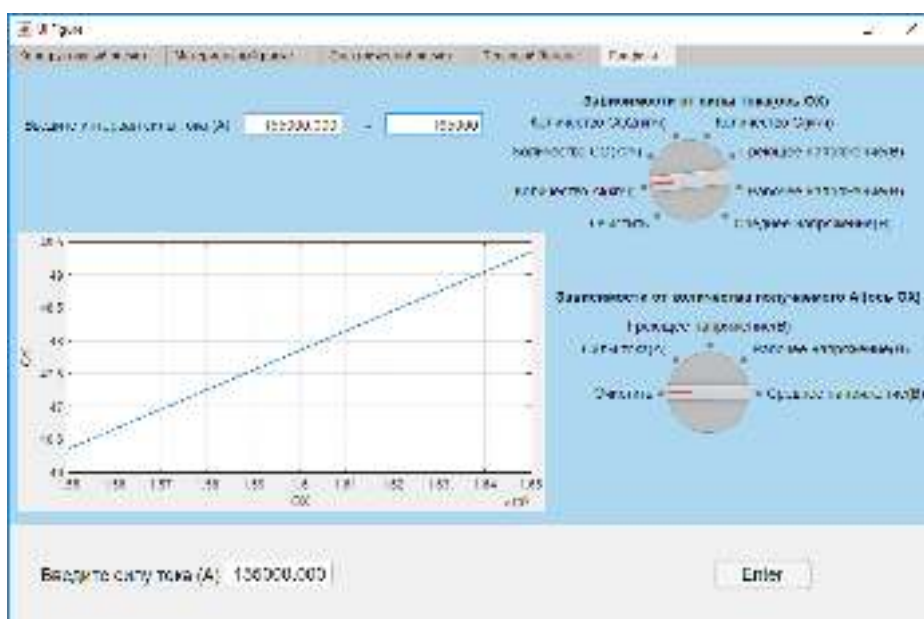


Рис. 6. Окно построения графиков

С помощью этих вкладок были получены зависимости количества получаемого алюминия, CO , CO_2 , C , греющего, рабочего и среднего напряжения от силы тока и зависимости силы тока, греющего, рабочего и среднего напряжения от количества получаемого алюминия. Все зависимости являются линейными. Некоторые из них представлены на рис. 7. Особенностью построения графических зависимостей в данном приложении является автоматическое построение шкалы и ее масштабирование, поэтому графики, представленные на рис. 7, имеют схожий вид.

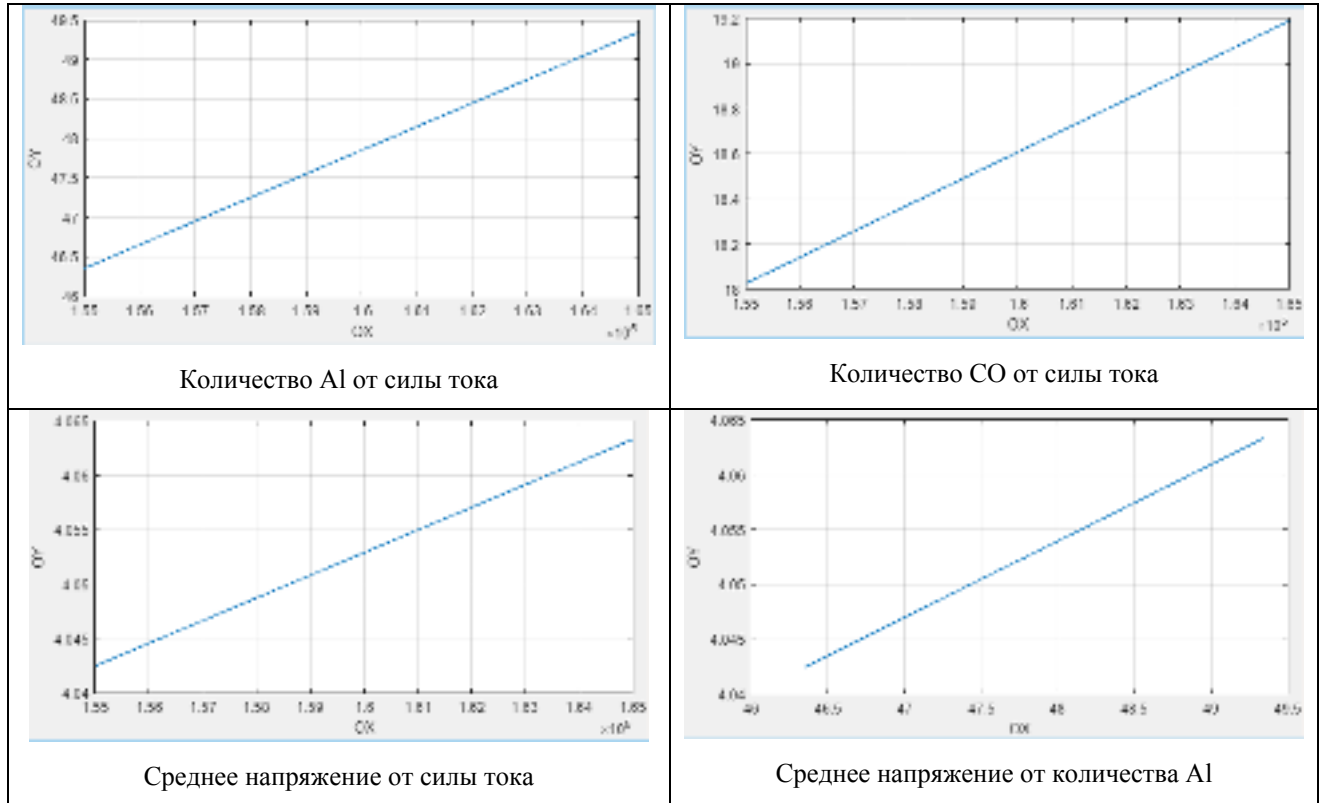


Рис. 7. Графики зависимостей

Выводы

В данной работе рассмотрена задача расчета алюминиевого электролизера с самообжигающимся анодом и верхней подачей тока. Рассмотрен процесс плавки и алгоритм расчета печи.

Средой разработки был выбран App Designer, из-за его простого синтаксиса и удобства построения пользовательского интерфейса. С помощью данного программного продукта реализовано приложение для расчета всех ключевых параметров электролизера, распределены все данные по вкладкам для удобства дальнейшего исследования, реализована возможность построения зависимости и т.д.

Список использованной литературы

1. Карвацкий А.Я. Теоретические и экспериментальные исследования тепло-электрического и механического состояния высокотемпературных агрегатов / А.Я. Карвацкий, Е.Н. Панов, С.В. Кутузов, И.Л. Шилович, Г.Н. Васильченко, С.В. Лелека. — К: НТУУ "КПИ", 2012. — 356 с.
2. Акулич Н. В. Процессы производства черных и цветных металлов и их сплавов / Н. В. Акулич. — Гомель, 2008. — 270 с.
3. Методический материал по App Designer [Электронный ресурс] – Режим доступа к ресурсу: <https://www.mathworks.com/>.