

**Литература**

1. Taylor, H. F. W. Cement Chemistry [Text]/ H. F. W. Taylor. – Ed. 2. – London: Thomas Telford Publishing, 1997. – 459 p.
2. Bogy, R. X. The Chemistry of Portland cement [Text]/ R. X. Bogy. – New York, 1995. – 326 p.
3. Kurdowski, W. Chemia cement [Text]/ W. Kurdowski. – Warszawa: PWN, 1991. – 478 p.
4. Hewlett, P. C. Lea's Chemistry of Cement and Concrete [Text]/ P. C. Hewlett. – Ed. 4. – London: Butterworth-Heinemann, 2004. – 1092 p.
5. Ghosh, S. N. Advances in Cement Technology: Chemistry, Manufacture and Testing [Text]/ S. N. Ghosh. – Taylor & Francis, 2003. – P. 828.
6. Caijun Shi. New cements for the 21st century: The pursuit of an alternative to Portland cement [Text]/ Caijun Shi, A. Fernández Jiménez, Angel Palomo // Cement and Concrete Research. – 2011. – V. 41, Is. 7. – P. 750-763.
7. Бутт, Ю. М. Химическая технология вяжущих материалов [Текст]/ Ю. М. Бутт, М. М. Сычев, В. В. Тимашев. – М.: Высшая школа, 1980. – 460 с.
8. Зубехин, А. П. Белый портландцемент [Текст]/ А. П. Зубехин, С. П. Голованова, П. В. Кирсанов. – Ростов н/Д: Ростовский гос. ун-т, 2004. – 263 с.
9. Регулирование процессов структурообразования сырьевых цементных шламов [Текст]/ А. А. Пащенко, Н. Н. Круглицкий, Л. С. Чередниченко, И. Ф. Руденко. – К.: Вища школа, 1973. – 67 с.
10. Физико-химическая механика дисперсных минералов. [Текст]/ С. П. Ничипоренко, Н. Н. Круглицкий, А. А. Панасевич, В. В. Хилько; под общ. ред. Н. Н. Круглицкого. – К.: Наукова думка, 1974. – 246 с.
11. Ходаков, Г. С. Реология суспензий. Теория фазового течения и ее экспериментальное обоснование [Текст]/ Г. С. Ходаков // Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д. И. Менделеева). – 2003. – Т. XLVII, № 2. – С. 33-44.

**КОАГУЛЯЦИОННАЯ СТРУКТУРА ЦЕМЕНТНОГО ШЛАМА С РАЗНОВИДНОСТЯМИ ГЛИНИСТОГО КОМПОНЕНТА**

Показаны особенности коагуляционного структурообразования водных дисперсных систем - цементного шлама на основе мела при применении глинистых компонентов различного химико - минералогического состава и дисперсности. Дано сравнение характеристик полиминеральной глины для изготовления портландцемента с разновидностями каолинов, применяемых для получения белого цемента

**Ключевые слова:** цемент, дисперсная система, состав, дисперсность, минералогия, структура коагуляционная, реология, вязкость

*Дорогань Наталія Олександрівна, аспірант, кафедра хімічної технології композиційних матеріалів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна, e-mail: nataliyadorogan@ukr.net*

*Дорогань Наталия Александровна, аспирант, кафедра химической технологии композиционных материалов Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина, e-mail: nataliyadorogan@ukr.net*

*Dorogan Nataliia, National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnical Institute", Ukraine, e-mail: nataliyadorogan@ukr.net*

УДК 620.193

**Бачурский Д. В.****К ВЫБОРУ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ПОТОЧНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА МАГНИЯ**

*Приведена математическая модель температурного режима поточной линии электролитического производства магния, работающей в составе титаномагниевого производства. Показаны диапазоны возможного колебания температуры расплава аппаратов поточной линии при периодической подаче сырья. Предложены варианты практического использования разработанной математической модели при проектировании и эксплуатации поточных линий для электролитического производства магния.*

**Ключевые слова:** электролиз магния, поточная линия, низшие хлориды титана, факторный эксперимент, влажность

**1. Введение**

Температура электролита в аппаратах поточной линии является важным технологическим параметром. Превышение оптимальных значений температуры вызывает увеличение выхода шлама, снижение выхода по току, рост удельного расхода электроэнергии

**2. Анализ литературных данных и постановка проблемы**

В работе Н. М. Зуева [1] рассмотрено влияние температуры на технологические параметры производства магния в поточной линии. Для получения

максимальных значений выхода по току электролиз проводят при температуре электролита 670...700 °С. Эти параметры считаются оптимальными как при индивидуальном обслуживании электролизёров, так и для поточной технологии. Пример такого эффекта иллюстрирует температурная зависимость, снятая на промышленном электролизёре, вмещающем 24 т электролита, при заливке в него 1 т хлорида магния (рис. 1). После повышения температуры электролита в технологической ячейке на 31 °С, вследствие интенсивного массообмена в объёме электролита, избыточное тепло отводится через элементы конструкции электролизёра, и температура электролита в течение 45 мин стабилизируется на значении, близком к исходному.

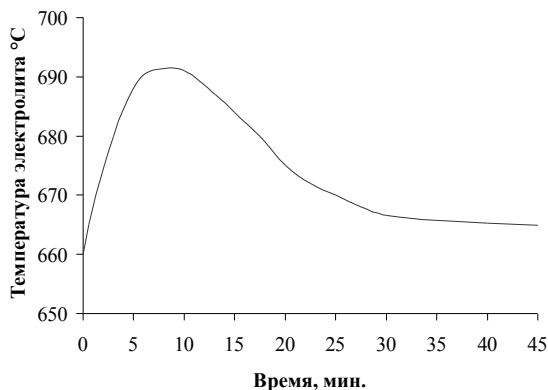


Рис. 1. Изменение температуры электролита в электролизере в процессе заливки хлорида магния

### 3. Результаты исследований

При рассмотрении температурного режима поточной линии в качестве факторов, вызывающих отклонение от температурного равновесия, во внимание принимались приход тепла с заливаемым в головной аппарат хлоридом магния и теплота смешения хлорида магния с отработанным электролитом, поступающим из разделительного аппарата. При этом был сделан ряд допущений:

1. до заливки хлорида магния все аппараты поточной линии находятся в условии теплового равновесия  $Q_{\text{приход}} = Q_{\text{расход}}$ ;
2. теплота смешения выделяется только в головном аппарате;
3. потери тепла в соединительных каналах не зависят от температуры, перетекающего по ним электролита;
4. поток расплава в цепи аппаратов много больше емкости одного электролизёра;
5. время заполнения одного электролизёра много меньше продолжительности перерыва в питании поточной линии сырьём;
6. в каждом электролизёре происходит полное перемешивание электролита с поступающим в него расплавом;
7. ёмкость аппаратов поточной линии по расплаву не одинакова, т. е.

$$P_{\text{ГА}} \neq P_{\text{РЭ}} \neq P_{\text{ПЭ}} \neq P_{\text{РА}},$$

где  $P_{\text{ГА}}, P_{\text{РЭ}}, P_{\text{ПЭ}}, P_{\text{РА}}$  - соответственно, количество электролита в головном аппарате, рафинировочном и проточном электролизёрах и разделительном аппарате;

8. сработка хлорида магния в рафинировочных электролизёрах и проточных различна:

$$m_{\text{РЭ}} \neq m_{\text{ПЭ}}.$$

В этом случае, уравнения для расчёта температуры электролита  $t_n$  в момент времени  $\tau_k$  будут иметь следующий вид:

- для головного аппарата

$$t_{\text{ГА},\tau_k} = \frac{c \cdot P_{\text{ГА}} \cdot t_{\text{ГА},\tau_{(k-1)}} + Q_{\text{см},\tau_k} + c \cdot \overline{M}_{\tau_k} \cdot t_{\text{MgCl}_2} - Q_{\text{пот.},\text{ГА},\tau_{(k-1)}} + c \cdot M_n \cdot t_{\text{РА},\tau_{(k-1)}}}{c \cdot (P_{\text{ГА}} + \overline{M}_{\tau_k} + M_n)}, \quad (1)$$

- для каждого из рафинировочных электролизёров

$$t_{\text{н.РЭ},\tau_k} = \frac{c \cdot P_{\text{РЭ}} \cdot t_{\text{н.РЭ},\tau_{(k-1)}}}{c \cdot (P_{\text{РЭ}} + \overline{M}_{\tau_k} + M_n - (n_{\text{РЭ}} - 1) \cdot m_{\text{РЭ}})} + \frac{c \cdot (\overline{M}_{\tau_k} + M_n - (n_{\text{РЭ}} - 1) \cdot m_{\text{РЭ}}) t_{\text{н.РЭ},\tau_{(k-1)}}}{c \cdot (P_{\text{РЭ}} + \overline{M}_{\tau_k} + M_n - (n_{\text{РЭ}} - 1) \cdot m_{\text{РЭ}})} - \frac{Q_{\text{пот.},\text{РЭ},\tau_{(k-1)}}}{c \cdot (P_{\text{РЭ}} + \overline{M}_{\tau_k} + M_n - (n_{\text{РЭ}} - 1) \cdot m_{\text{РЭ}})}, \quad (2)$$

- для каждого из проточных электролизёров

$$t_{\text{н.ПЭ},\tau_k} = \frac{c \cdot P_{\text{ПЭ}} \cdot t_{\text{н.ПЭ},\tau_{(k-1)}}}{c \cdot (P_{\text{ПЭ}} + \overline{M}_{\tau_k} + M_n - (n_{\text{РЭ}} - 1) \cdot m_{\text{РЭ}} - (n_{\text{ПЭ}} - 1) \cdot m_{\text{ПЭ}})} + \frac{c \cdot (\overline{M}_{\tau_k} + M_n - (n_{\text{РЭ}} - 1) \cdot m_{\text{РЭ}} - (n_{\text{ПЭ}} - 1) \cdot m_{\text{ПЭ}}) \cdot t_{\text{н.ПЭ},\tau_{(k-1)}}}{c \cdot (P_{\text{ПЭ}} + \overline{M}_{\tau_k} + M_n - (n_{\text{РЭ}} - 1) \cdot m_{\text{РЭ}} - (n_{\text{ПЭ}} - 1) \cdot m_{\text{ПЭ}})} - \frac{Q_{\text{пот.},\text{ПЭ},\tau_{(k-1)}}}{c \cdot (P_{\text{ПЭ}} + \overline{M}_{\tau_k} + M_n - (n_{\text{РЭ}} - 1) \cdot m_{\text{РЭ}} - (n_{\text{ПЭ}} - 1) \cdot m_{\text{ПЭ}})}, \quad (3)$$

- для разделительного аппарата

$$t_{\text{РА},\tau_k} = \frac{c \cdot P_{\text{РА}} \cdot t_{\text{РА},\tau_{(k-1)}}}{c \cdot (P_{\text{РА}} + \overline{M}_{\tau_k} + M_n - n_{\text{РЭ}} \cdot m_{\text{РЭ}} - n_{\text{ПЭ}} \cdot m_{\text{ПЭ}})} + \frac{c \cdot (\overline{M}_{\tau_k} + M_n - n_{\text{РЭ}} \cdot m_{\text{РЭ}} - n_{\text{ПЭ}} \cdot m_{\text{ПЭ}}) \cdot t_{\text{РА},\tau_{(k-1)}}}{c \cdot (P_{\text{РА}} + \overline{M}_{\tau_k} + M_n - n_{\text{РЭ}} \cdot m_{\text{РЭ}} - n_{\text{ПЭ}} \cdot m_{\text{ПЭ}})} - \frac{Q_{\text{пот.},\text{РА},\tau_{(k-1)}}}{c \cdot (P_{\text{РА}} + \overline{M}_{\tau_k} + M_n - n_{\text{РЭ}} \cdot m_{\text{РЭ}} - n_{\text{ПЭ}} \cdot m_{\text{ПЭ}})}, \quad (4)$$

где  $c$  - теплоёмкость расплавов (принята одинаковой для электролита во всех аппаратах);

$Q_{\text{см},\tau_k}$  - теплота смешения  $\text{MgCl}_2$  с электролитом;

$t_{\text{MgCl}_2}$  - температура заливаемого хлорида магния;

$Q_{\text{пот.},\tau_k}$  - дополнительные теплотери аппаратов, связанные с изменением температуры электролита;

$n$  - порядковый номер электролизёра, отсчитываемый от головного аппарата по направлению движения электролита.

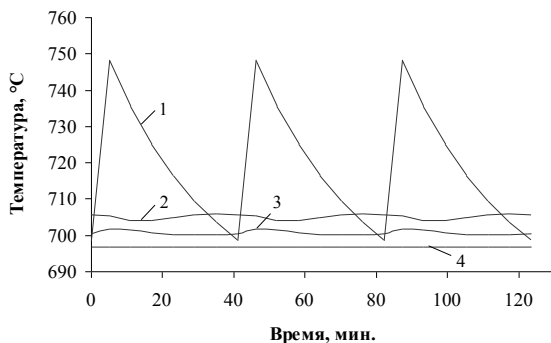
$M_n + P_{\text{Э}} \cdot n \cdot m$  - вес электролита, протекающего через электролизёр за период  $\tau_k$ ;

$\overline{M}_{\tau_k}$  - количество хлорида магния титанового производства, заливаемого в головной аппарат за время  $\tau_k$ .

Граничным условием применения уравнений (1 - 4) является равенство нулю  $\overline{M}_{\tau_k}$  и  $Q_{\text{см},\tau_k}$  во все промежуточные времена, кроме тех, при которых происходит подача сырья. Если каждый из промежутков времени  $\tau_k$  принять равным продолжительности заливки хлорида магния из одного ковша, значения  $Q_{\text{см},\tau_k}$  и  $\overline{M}_{\tau_k}$  будут учитываться при первой заливке, от которой начинается отсчёт времени  $\tau_{k=0}$ , и в каждый последующий  $k$ -ый момент времени  $\tau_k = T$  (где  $T$  - время между заливками хлорида магния). Были рассчитаны температурные параметры поточной линии, состоящей

из того же набора аппаратов и работающей при тех же условиях, что и при расчёте концентрационного режима. Значение  $Q_{\text{см},\tau_k}$  определяли как энтальпию смешения в тройной системе  $\text{KCl-NaCl-MgCl}_2$  по уравнению, предложенному Коллером [2], с

использованием термодинамических данных, взятых из [3 – 10]. При расчёте теплопотерь  $Q_{\text{пот,тх}}$  исходили из размеров и конструкции аппаратов поточной линии, спроектированной для одного из титаномагниевого заводов (рис. 2). Температурные максимумы, достигающие 748 °С, имеют место в головном аппарате. Выравнивание температурного режима при оптимальных для электролиза значениях температуры электролита происходит после 5-го проточного электролизёра.



**Рис. 2.** Изменение температуры электролита в аппаратах поточной линии в условиях ритмичной подачи сырья: 1 - головной аппарат; 2, 3 - соответственно, первый и второй рафинеровочные электролизёры; 4 - пятый проточный электролизёр

#### 4. Выводы

Приведенные в данной работе уравнения для расчета температурного режима могут быть использованы при проектировании поточных линий электролиза магния, а также для текущего анализа работы поточных линий, эксплуатирующихся в составе титаномагниевого заводов. Они могут быть взяты за основу при разработке программного обеспечения системы АСУТП цехов электролитического производства магния, в которых применяется поточная технология.

#### Литература

- Зуев, Н. М. Исследование и разработка поточной технологии электролитического производства магния [Текст]: дисс. на соиск. научн. ст. докт. техн. наук. / Н. М. Зуев. – Л., 1975. – 327 с.
- Kohler, F. Zur Berechnung der thermodynamischen Daten eines ternären Systems aus den zugehörigen binären Systemen [Text] / F. Kohler, G. H. Fidernegg // Monatsh. Chem. – 1965. – Vol. 96. – №4. – P. 1228-1251.
- Марков, Б. Ф. Термодинамические свойства расплавов солевых систем [Текст]: справ. пос. / Б. Ф. Марков, С. В. Волков, В. Д. Присяжный и др. – К.: Наукова думка, 1985. – 172 с.
- Magnesium processing [Electronic resource]. – Available at: \www/URL: [http://www.britannica.com/EBchecked/topic/356969/magnesium-processing/82155 /Electrolysis](http://www.britannica.com/EBchecked/topic/356969/magnesium-processing/82155/Electrolysis). – 05.11.2013.
- Kenkichi Tachiki. On the Electrolytic Reduction of Chlorous Acid by the Dropping Mercury [Electronic resource] / Kenkichi Tachiki. – Available at: \www/URL: [http://astp.jst.go.jp/modules/search/index.php?page=DocumentDetail&journalId=0369-4208\\_65\\_5\\_On+the+Electrolytic+Reduction+of+Chlorous+Acid+by+the+Dropping+Mercury\\_N%2FA](http://astp.jst.go.jp/modules/search/index.php?page=DocumentDetail&journalId=0369-4208_65_5_On+the+Electrolytic+Reduction+of+Chlorous+Acid+by+the+Dropping+Mercury_N%2FA)
- Kenkichi Tachiki. Adsorption of Chlorine by Magnesium Oxide. V. 1 [Electronic resource] / Kenkichi Tachiki. – Available at: \www/URL: [http://astp.jst.go.jp/modules/search/index.php?page=DocumentDetail&journalId=0369-4208\\_65\\_1\\_Adsorption+of+Chlorine+by+Magnesium+Oxide.+1\\_N%2FA](http://astp.jst.go.jp/modules/search/index.php?page=DocumentDetail&journalId=0369-4208_65_1_Adsorption+of+Chlorine+by+Magnesium+Oxide.+1_N%2FA)
- Mathieson, Grant A. Electrolytic purification of water [Electronic resource] / Grant Alexander Mathieson. – Available at: \www/URL: <http://researchcommons.waikato.ac.nz/bitstream/handle/10289/4416/thesis.pdf?sequence=1>
- Марков, Б. Ф. Термодинамика расплавленных солевых смесей [Текст] / Б. Ф. Марков. – К. Наукова думка, 1974. – 158 с.
- Криворучко, Н. П. Температурный режим поточной линии электролиза магния из хлорида магния титанового производства [Электронный ресурс] / Н. П. Криворучко, Д. В. Бачурский, И. Ф. Червоный, Д. М. Хабров, Е. А. Матвеев, Е. П. Щербань. – Режим доступа: \www/URL: [http://archive.nbuv.gov.ua/portal/natural/Metalurg/2012\\_1/pdf/METALURG\\_26\\_10.pdf](http://archive.nbuv.gov.ua/portal/natural/Metalurg/2012_1/pdf/METALURG_26_10.pdf). – 20.11.2013.
- Бачурский, Д. В. Осаждение TiCl<sub>2</sub> (3) в расплаве KCl:NaCl:MgCl<sub>2</sub> в зависимости от влажности загружаемой NaCl [Электронный ресурс] / Д. В. Бачурский. – Режим доступа: \www/URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/osazhdenie-ticl-2-3-v-rasplave-kcl-nacl-mgcl-2-v-zavisimosti-ot-vlazhnosti-zagruzhaemoy-nacl>. – 15.11.2013.

#### ДО ВИБОРУ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ ПОТОКОВОЇ ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОЛІТИЧНОГО ВИРОБНИЦТВА МАГНІЮ

Наведено математичну модель температурного режиму потокової лінії електролітичного виробництва магнію, що працює у складі титаномагнієвого виробництва. Показані діапазони можливого коливання температури розплаву апаратів потоковою лінією при періодичній подачі сировини. Запропоновані варіанти практичного використання розробленої математичної моделі при проектуванні і експлуатації поточних ліній для електролітичного виробництва магнію

**Ключові слова:** електроліз магнію, потокова лінія, нижчі хлориди титану, факторний експеримент, вологість

*Бачурский Денис Васильевич, аспирант, кафедра металлургии цветных металлов, Запорожская государственная инженерная академия, Украина, e-mail: rot44@yandex.ru*

*Бачурський Денис Васильович, аспірант, кафедра металургії кольорових металів, Запорізька державна інженерна академія, Україна, e-mail: rot44@yandex.ru*

*Bachurskyi Denis, Zaporozhye State Engineering Academy, Ukraine, e-mail: rot44@yandex.ru*