

12. Севостьянов, И. В. Експериментальні дослідження процесів потокового віброударного фільтрування вологих дисперсних матеріалів [Текст] / І. В. Севостьянов, Р. Д. Іскович-Лотоцький, В. С. Любін // Промислова гідраліка та пневматика. — 2010. — № 4. — С. 89–92.

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ И ФИЛЬТРОВАНИЯ ДИСПЕРСНЫХ ПИЩЕВЫХ ОТХОДОВ

В статье приводятся схемы высокоэффективных процессов и оборудования для обезвоживания и фильтрования влажных дисперсных пищевых отходов. При этом каждую стадию рабочих процессов предлагается реализовывать на отдельной единице оборудования с повышением от стадии к стадии интенсивности нагрузки отходов. Приводятся зависимости для определения параметров эффективности виброударного обезвоживания и фильтрования.

Ключевые слова: виброударное обезвоживание и фильтрование, влажные дисперсные пищевые отходы, гидроимпульсный привод.

Севостьянов Иван Вячеславович, кандидат технических наук, кафедра металлорезальных верстатов та обладнання автоматизованого виробництва, Вінницький національний технічний університет, e-mail: ivansev70@mail.ru.

Севостьянов Иван Вячеславович, кандидат технических наук, кафедра металлорежущих станков и оборудования автоматизированного производства, Винницкий национальный технический университет.

Sevostyanov Ivan, Vinnytsia National Technical University, e-mail: ivansev70@mail.ru

УДК 620.193

Бачурский Д. В.

ОСАЖДЕНИЕ $TiCl_2(3)$ В РАСПЛАВЕ $KCl : NaCl : MgCl_2$ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВЛАЖНОСТИ ЗАГРУЖАЕМОЙ $NaCl$

Изложены результаты исследований процесса осаждения соединений титана в расплаве солей, в зависимости от влажности, подаваемой на зеркало расплава $NaCl$. Состав расплава соответствует электролиту, применяемому при электролитическом производстве магния в поточных линиях. Приведено уравнение регрессии, позволяющее определить степень влияния влажности на процесс осаждения соединений титана, а также определить количество осажденного титана.

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

1. Введение

Воздействие той или иной примеси на процесс электролиза, главным образом, изучалось отдельно, без учета их взаимного влияния. Влияние влаги проявляется в пассивационных эффектах на катоде, а также повышенном шламообразовании. Примесь титана также нарушает нормальный ход электролиза вследствие пассивации катода, при которой магний выделяется в виде несдвигающихся мелких королек, и выход по току снижается на 5–10 %. О совместном влиянии указанных примесей известно из практики электролиза. Для проведения депассивации катодов применяется такая операция, как загрузка влажной поваренной соли [1]. Также поступают после откачки шлама из электролизеров. С точки зрения вредного влияния воды на электролиз такая операция выглядит парадоксально. Однако ее полезность для наладки работы электролизеров подтверждена практически. Другим примером влияния влаги на показатели работы магниевых электролизеров является объективный факт сезонного изменения выхода по току на электролизерах, питаемых расплавленным хлоридом магния титанового производства [2–4].

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Ранее изучалось взаимодействие воздуха с низшими хлоридами титана, растворенными в расплавах $NaCl-KCl$, с различным содержанием $MgCl_2$ [5, 6]. Расплавы выдерживали в чистом аргоне, в смеси аргона с воздухом и на воздухе. В результате исследований было установлено, что наиболее полное и быстрое удаление соединений титана в шлам происходило при его контакте с атмосферным воздухом и при повышенном содержании $MgCl_2$. Повышенное содержание хлорида магния способствовало протеканию процесса гидролиза и, как следствие, улучшало реакции окисления низших хлоридов титана.

Проанализировав, результаты термодинамических расчетов и исследований по влиянию влажности воздуха на совместное осаждение соединений титана и оксида магния в расплаве хлорида магния [7, 8], был сделан вывод, что аналогичные процессы возможны и в электролитах магниевых электролизеров.

3. Цель и задачи исследования

Чтобы оценить степень влияния влаги на удаление соединений титана из электролита в шлам была

проведена серия опытов. Для этого провели полный факторный эксперимент 2^3 . Данная методика исследований позволяет дать оценку значимости влияния каждого из выбранных факторов на параметр оптимизации — количество осажженного в расплаве титана. Результаты исследований позволяют дать оценку влияния влаги на удаление соединений титана из расплава в нерастворимый осадок и помогут разработать технологические решения для улучшения показателей электролиза в сухой период календарного года.

4. Экспериментальные данные и их обработка

Определяющими факторами выбрали: X_1 — концентрацию хлорида магния в электролите, X_2 — температуру расплава, X_3 — количество воды поступающей на поверхность электролита. Воду подавали в составе увлажненной поваренной соли.

Граничными показателями факторов задали следующие значения:

- концентрация $MgCl_2$ в электролите, $C = 12; 22$ % масс;
- температура электролита, $T = 690; 750$ °С;
- количество воды в составе $NaCl$, $f = 0; 6$ % масс.

В состав исследуемого расплава кроме хлорида магния также входили, $Ti_{общ} = 0,15$ % масс., и KCl , $NaCl$ при соотношении $KCl : NaCl = 3 : 1$. Титан в расплав вводили в составе плава солей: $Ti_{общ} = 3$ % масс., остальное $KCl : NaCl = 3 : 1$. Плав готовили по методике, описанной в работе [7]. Приведенные выше значения факторов и составы расплавов были выбраны для исследований исходя из практики работы производств, использующих поточную технологию производства магния электролизом. При построении плана эксперимента пользовались методикой приведенной в [9–13]. Кодовые значения факторов: -1 и 1 соответствуют их нижнему и верхнему значениям в натуральном виде. План эксперимента представлен в табл. 1. Для обеспечения достоверности полученных результатов, во время реализации плана эксперимента выполняли по три опыта для одинаковых условий.

Таблица 1

План полного факторного эксперимента 2^3

№ опыта	0-й коэфф. b_0	Кодовые значения факторов						
		X_1	X_2	X_3	$X_1 \cdot X_2$	$X_1 \cdot X_3$	$X_2 \cdot X_3$	$X_1 \cdot X_2 \cdot X_3$
1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1
2	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1
3	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1
4	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1
5	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1
6	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1
7	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1
8	1	1	1	1	1	1	1	1

Исследование осаждения MgO , $TiCl_{2(3)}$ в расплаве. Последовательность выполнения опытов по исследованию осаждения MgO , $TiCl_{2(3)}$ в расплаве была следующей. После достижения необходимой температуры в печи в нее помещали кварцевую реторту, запускали подачу сухого HCl и аргона. Расплавили навеску солей параллельно,

при необходимости, увлажняли $NaCl$. После полного расплавления навески солевой смеси загружали в стакан плав, содержащий $TiCl_{2(3)}$. Общая масса расплава равнялась 1300 г. Затем подачу HCl прекращали и отбирали первую пробу расплава. Затем загружали увлажненную или сухую, $NaCl$, при этом интенсивно перемешивали расплав, отбирали по прошествии 3–5 минут пробу, останавливали подачу аргона. Далее вели процесс отстаивания и отбор проб. Отбор проб производили через 5, 10, 15, 30 минут после начала отстаивания.

Пробы сливали в сухие и прогретые кварцевые изложницы, и сразу помещали их в герметичный эксикатор. По окончании отбора проб выключали печь и сливали оставшийся в реторте расплав в кварцевую изложницу.

Помещенные в эксикатор пробы по отдельности доставляли в сухой бокс, где их подготавливали к анализу в агазовой ступке, и помещали в стеклянные пробирки. Затем с данными пробами проводили анализы, содержание $Ti_{(общ)}$ по методике, описанной в [14].

Экспериментальные данные, полученные при проведении опытов по изучению процесса осаждения MgO , $TiCl_{2(3)}$ в электролите магниевого электролизера в зависимости от влажности, добавляемой в электролит поваренной соли приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты опытов, средние значения, дисперсия

№ опыта	№ пробного опыта	Результаты пробных опытов, количество осажженного титана в опытах — $Ti_{(общ)}$, % масс.	Ср. знач. \bar{y}_i	Дисперсия, S_i^2
1	1,1	0,043	0,0417	$2,33 \cdot 10^{-6}$
	1,2	0,042		
	1,3	0,04		
2	2,1	0,075	0,0723	$6,33 \cdot 10^{-6}$
	2,2	0,07		
	2,3	0,072		
3	3,1	0,103	0,1033	$4,23 \cdot 10^{-5}$
	3,2	0,11		
	3,3	0,097		
4	4,1	0,087	0,0907	$1,63 \cdot 10^{-5}$
	4,2	0,09		
	4,3	0,095		
5	5,1	0,075	0,0773	$6,33 \cdot 10^{-6}$
	5,2	0,08		
	5,3	0,077		
6	6,1	0,1	0,0947	$3,03 \cdot 10^{-5}$
	6,2	0,089		
	6,3	0,095		
7	7,1	0,102	0,109	$4,3 \cdot 10^{-5}$
	7,2	0,11		
	7,3	0,115		
8	8,1	0,125	0,125	$2,5 \cdot 10^{-5}$
	8,2	0,12		
	8,3	0,13		
Сумма дисперсий, $\sum_{i=1}^N S_i^2$				$1,72 \cdot 10^{-4}$

Полученные экспериментальные данные также представлены графически.

На рис. 1 показано количество осажденного титана в зависимости от концентрации хлорида магния в электролите. Концентрация $MgCl_2$, температура и влажность поваренной соли соответствовали значениям, принятым в указанных опытах, в табл. 1. Опыты рассмотрены попарно таким образом, чтобы температура и влажность $NaCl$ в них были одинаковы. Содержание титана соответствует средним значениям для рассматриваемых опытов, указанным в табл. 2.

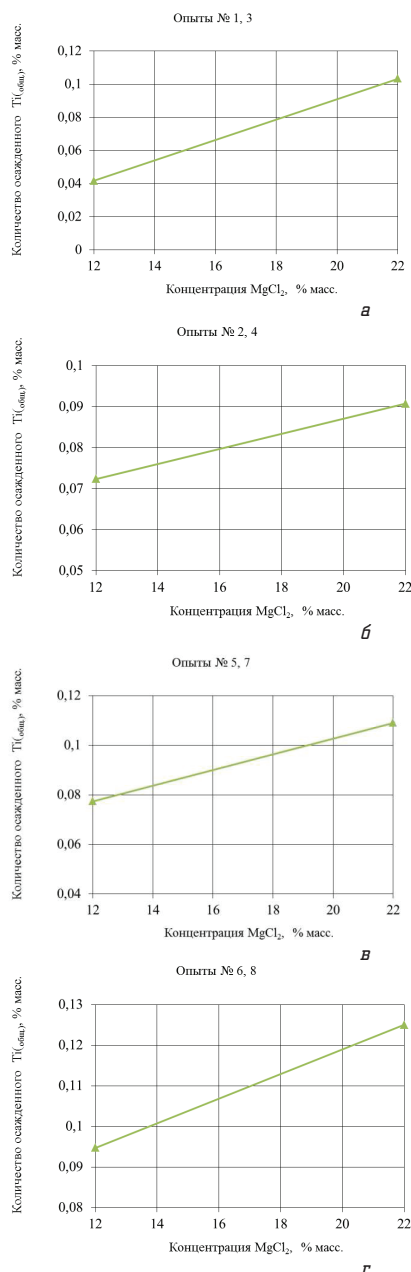


Рис. 1. Количество осажденного титана в зависимости от концентрации хлорида магния в электролите при: *a* — $T = 690$ °C; $f = 0$ % масс.; *б* — $T = 750$ °C; $f = 0$ % масс.; *в* — $T = 690$ °C; $f = 6$ % масс.; *г* — $T = 750$ °C; $f = 6$ % масс.

Из приведенных на рис. 1 зависимостей видно, что при постоянных значениях влажности поваренной соли и температуры расплава с ростом концентрации $MgCl_2$

в электролите количество осажденного титана заметно возрастает. Наиболее ярко данная зависимость отображена на графике (*з*) рис. 1, где при максимальных значениях температуры и влажности, с увеличением концентрации хлорида магния добились максимального удаления соединений титана из объема расплава.

На рис. 2 отображены зависимости количества удаленной примеси титана в нерастворимый осадок от температуры расплава. Концентрация $MgCl_2$, температура и влажность поваренной соли соответствовали значениям, принятым в указанных опытах, в табл. 1. Опыты рассмотрены попарно таким образом, чтобы концентрация и влажность $NaCl$ в них были одинаковы. Содержание титана соответствует средним значениям для рассматриваемых опытов, указанным в табл. 2.

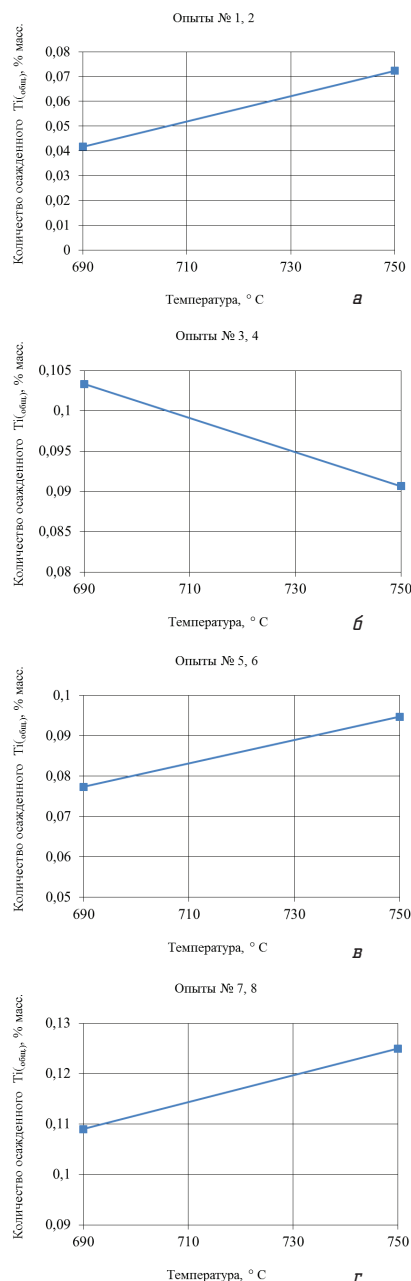


Рис. 2. Количество осажденного титана в зависимости от температуры расплава при: *a* — $C = 12$ % масс.; $f = 0$ % масс.; *б* — $C = 22$ % масс.; $f = 0$ % масс.; *в* — $C = 12$ % масс.; $f = 6$ % масс.; *г* — $C = 22$ % масс.; $f = 6$ % масс.

Как видно из рис. 2, при увеличении температуры количество осажженного титана увеличивается, кроме результатов пары опытов № 3 и № 4, в которых количество титана уменьшается. Уменьшение количества осажженного титана можно объяснить влиянием других факторов эксперимента.

На рис. 3 показано влияние влажности поваренной соли подаваемой на поверхность электролита, на конечное содержание титана в расплаве. Концентрация $MgCl_2$, температура и влажность поваренной соли соответствовали значениям, принятым в указанных опытах, в табл. 1. Опыты рассмотрены попарно таким образом, чтобы концентрация и температура в них были одинаковы. Содержание титана соответствует средним значениям для рассматриваемых опытов, указанным в табл. 2.

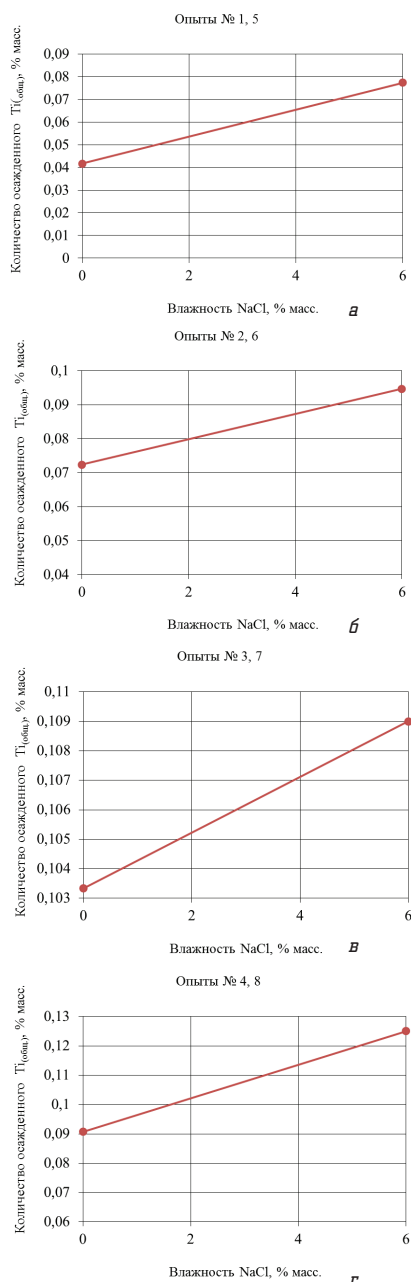


Рис. 3. Количество осажженного титана в зависимости от влажности поваренной соли подаваемой на поверхность расплава при:
 а — $C = 12$ % масс.; $T = 690$ °С; б — $C = 12$ % масс.; $T = 750$ °С;
 в — $C = 22$ % масс.; $T = 690$ °С; г — $C = 22$ % масс.; $T = 750$ °С

Графические зависимости на рис. 3 показывают, что если засыпать увлажненную поваренную соль на зеркало электролита, то количество осажженного в шлам титана увеличится. Следует отметить, что зависимость влияния влажности на удаление примеси титана схожа с влиянием концентрации хлорида магния в электролите.

На основе результатов проведенных экспериментов было построено уравнение регрессии

$$y = 0,0893 + 0,01775 \cdot x_1 + 0,0064 \cdot x_2 + 0,01225 \cdot x_3 - 0,0056 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,002 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,002 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0,0053 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3. \quad (1)$$

Числовые значения коэффициентов показывают величину влияния того или иного фактора на конечный параметр — количество осажженных соединений титана из расплава в нерастворимый осадок.

На основании уравнения (2) установили связь между кодовыми и натуральными значениями факторов.

$$X_i = \frac{x_i - x_{0i}}{\Delta_{xi}}, \quad (2)$$

где X_i — кодовое значение фактора; x_i — натуральное значение фактора; x_{0i} — натуральное значение среднего уровня; Δ_{xi} — интервал смены фактора, который определяется как половина разницы между натуральными значениями верхнего и нижнего уровней фактора.

Таким образом:

$$X_1 = \frac{C-17}{5}, \quad X_2 = \frac{T-720}{30}, \quad X_3 = \frac{f-3}{3}.$$

Подставив данные зависимости в уравнение регрессии вместо x_1, x_2, x_3 и сократив подобные члены, получили уравнение регрессии в натуральном виде.

$$Y = -1,0811 + 0,05627 \cdot C + 0,00152 \cdot T + 0,1665 \cdot f - 0,0000727 \cdot C \cdot T - 0,00861 \cdot C \cdot f - 0,00022 \cdot T \cdot f + 0,0000118 \cdot C \cdot T \cdot f. \quad (3)$$

Подставляя натуральные значения факторов в уравнение (3) можно с удовлетворительной точностью определить количество осажженного титана, в составе его соединений, в шлам при любых комбинациях значений факторов в исследуемом диапазоне.

7. Выводы

Полученное уравнение регрессии указывает на то, что все выбранные факторы влияют на процесс осаждения соединений титана в шлам, но в разной степени. Наибольшее влияние оказывает концентрация хлорида магния в электролите. Наименьшее — температура расплава. Однако положительный коэффициент при данном факторе указывает на то, что исследуемый процесс идет быстрее при повышенных температурах электролита. Как и предполагали, существенное влияние на очистку электролита от примеси титана оказывает вода в составе поваренной соли. Это согласуется с результатами предыдущих исследований, а также с термодинамическими расчетами.

Анализ проб всех опытов на содержание в них оксида магния показал, что оно не превышает 0,05 %

масс. Это также является косвенным подтверждением реакций между оксидом магния и соединениями титана.

Практической рекомендацией, которую можно сделать из полученных экспериментальных данных, является то, что загружать увлажненную соль в сухое время года в головной аппарат поточной линии во время заливки очередной порции хлорида магния.

Литература

1. Баранник, И. А. Промышленные исследования влияния примесей титана на электролиз хлористого магния [Текст] / И. А. Баранник, З. В. Ястребова, А. П. Егоров и др. // Цветная металлургия. — 1971. — № 8. — С. 40–42.
2. Мужжавлев, К. Д. Влияние влажности воздуха на выход по току при электролизе хлористого магния титанового производства [Текст] / К. Д. Мужжавлев, Н. А. Франтасьев, В. Г. Гопащенко и др. // Цветные металлы. — 1984. — № 8. — С. 62–64.
3. Свалов, Г. Н. Зависимость выхода по току магния от абсолютной влажности воздуха и срока службы электролизера с катодом-рамой при питании возвратным хлористым магнием [Текст] / Г. Н. Свалов, В. Н. Белов, Г. В. Олюнин, В. С. Чистякова // Электролитическое производство магния. — Зпорожье. — 1982. — С. 53–63.
4. Яковлева, Г. А. О режимных параметрах электролитического получения магния [Текст] / Г. А. Яковлева, Ж. В. Пилецкая, Р. Г. Минина. — М.: Цветные металлы. — 2010. — № 8. — С. 55–58. — ISSN 0372-2929.
5. Олесов, Ю. Г. Влияние состава электролита на поведение низших хлоридов титана в атмосфере воздуха [Текст] / Ю. Г. Олесов, И. А. Баранник, В. В. Нерубашенко и др. // Вопросы химии и химической технологии. — 1982. — Вып. 67. — С. 33–36.
6. Баранник, И. А. Исследование катодного процесса при электролизе хлористого магния содержащего низшие хлориды титана [Текст] / И. А. Баранник, В. В. Вольнский, Л. Н. Антипин // Украинский химический журнал. — Киев. — 1968. — С. 789–794.
7. Криворучко, Н. П. Экспериментальное изучение влияния влажности воздуха на осаждение частиц оксида магния и соосаждение соединений титана в расплавленном хлориде магния [Текст] / Н. П. Криворучко, Д. В. Бачурский, И. Ф. Червоный, В. Н. Михайлин // Металлургия. — Запорожье, 2008. — Выпуск 17. — С. 52–59.
8. Бачурский, Д. В. К вопросу о поведении примесей титана в электролитах магниевых электролизеров [Текст] / Д. В. Бачурский, И. Ф. Червоный, Н. П. Криворучко, Д. М. Хабров, Е. А. Матвеев, Е. П. Щербань // Теория и практика металлургии. — 2013. — № 2. — С. 17–24.
9. Пилипчук М. І. Основи наукових досліджень [Текст] : підручник / М. І. Пилипчук, А. С. Григор'єв, В. В. Шостак. — К.: Знання, 2007. — 270 с. — ISBN 966-346-248-5.
10. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий [Текст] / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. — М.: Наука, 1976. — 280 с. — Библиогр.: по главам. — 4200 экз.
11. Спиридонов, А. А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов [Текст] / А. А. Спиридонов. — М.: Машиностроение, 1981. — 184 с.
12. Налимов, В. В. Теория эксперимента [Текст] / В. В. Налимов. — М.: Наука, 1971. — 208 с.
13. Шенк, Х. Теория инженерного эксперимента [Текст] / Х. Шенк; перев. с англ. Е. Г. Коваленко. — М.: Мир, 1972. — 386 с.
14. Бойко, А. И. Методы Аналитического контроля в цветной металлургии. Том 6. Методы аналитического контроля в производстве титана и магния [Текст] : руководство / под ред. А. И. Бойко, Н. В. Галицкого, Т. А. Пампушко. — Москва. — 1983. — 230 с.

ОСАДЖЕННЯ $TiCl_{2(3)}$ У РОЗПЛАВІ $KCl : NaCl : MgCl_2$ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ВОЛОГОСТІ $NaCl$, ЩО ЗАВАНТАЖУЄТЬСЯ

Викладено результати досліджень процесу осадження сполук титану в розплаві солей, залежно від вологості $NaCl$, що подається на дзеркало розплаву. Склад розплаву відповідає електроліту, що застосовується при електролітичному виробництві магнію в потокових лініях. Приведено рівняння регресії, яке дозволяє визначити ступінь впливу вологості на процес осадження сполук титану, а також визначити кількість осадженого титану.

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

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

Бачурський Денис Васильович, аспірант, кафедра металургії кольорових металів, Запорізька державна інженерна академія.

Bachursky Denys, Zaporizhzhya State Engineering Academy, e-mail: denis-bacho@yandex.ru

УДК 004.052.3

Литвин Т. Р.,
Сердюк П. В.,
Зачковська Х. О.

АВТОМАТИЗОВАНЕ РЕГРЕСІЙНЕ ТЕСТУВАННЯ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ АЛГОРИТМІВ НА ОСНОВІ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Запропоновано метод підтримки автоматизованих тестів обчислювальних алгоритмів на основі нейронних мереж, який надає можливість оцінити правильність результатів обчислювальних алгоритмів після змін у функціональності програмного забезпечення. Описано математичну модель автоматизованого тестування з використанням нейронних мереж, розглянуто приклади застосування алгоритму.

Ключові слова: автоматизоване тестування, нейронні мережі, алгоритм зворотного поширення помилки, регресійне тестування.