

УДК 669.71

## ВЛИЯНИЕ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ НА ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ АЛЮМИНИЕВЫХ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ КАЗАХСТАНСКОГО ЭЛЕКТРОЛИЗНОГО ЗАВОДА

© 2019 г. В. А. Лебедев<sup>а</sup>, \* Ж. Ж. Камзин<sup>б</sup><sup>а</sup>Уральский федеральный университет им. Первого президента Б.Н. Ельцина,  
ул. Мира, 19, Екатеринбург, 620002 Россия<sup>б</sup>АО «Казахстанский электролизный завод»,  
ул. Сталеваров, 24, Павлодар, 40001 Казахстан

\*e-mail: v.a.lebedev@urfu.ru

Поступила в редакцию 21.08.2018

После доработки 03.09.2018

Принята к публикации 08.09.2018

По среднемесячным данным ОА «КЭЗ» с января 2010 г. по март 2011 г. для двух серий электролиза, работающих на заводе, выполнен регрессионный анализ зависимостей среднего напряжения, выхода по току, удельного расхода электроэнергии от давления паров воды в атмосферном воздухе в районе завода ( $P_{H_2O}$ ). Увеличение  $P_{H_2O}$  на 10 мм рт. ст. практически не оказывает влияния на величину рабочего напряжения, повышает выход по току на 0.48–0.63%, снижает удельный расход электроэнергии на 73–78 кВт · ч/т. Наблюдаемые закономерности объяснены уменьшением содержания фтора в поступающем в к.г.р. фторированном глиноземе, за счет удаления из него совместно с парами воды фтористого водорода, образующегося при гидролизе  $AlF_3$ ,  $Na_3AlF_6$  и десорбции при нахождении фторированного глинозема в зоне действия пробойников АПГ.

**Ключевые слова:** фторированный глинозем, содержание фтора, давление паров воды, среднее напряжение, выход по току, удельный расход электроэнергии, регрессионный анализ.

DOI: 10.1134/S0235010619020026

### 1. ВВЕДЕНИЕ

На АО «КЭЗ» применяются электролизеры GAM1-320 (1 серия) и NEUI-330 (2 серия) китайского производства с токовой нагрузкой 320 и 330 кА [1]. В NEUI-330 изменилось положение «нулевой» отметки с +1.0 до +2.5 м, кожух заменен на шпангоутный с составным поясом и поднятым фланцем с набойкой его карбидокремниевой смесью. Сохранилось пять точек питания глиноземом. Увеличено до 2-х точек питания фтор солями.

Указанные изменения положительно сказались на магнитно-гидродинамической стабильности электролизеров. Средняя скорость циркуляции металла для электролизеров 1-ой серии составила 5.3 см/с (максимум 7.2), второй – 3.36 см/с (максимум 5.09). Перекос металла уменьшился с 4 (1 серия) до 3 см. Уровень волнений не превышал (13–15) мВ, что говорит о высокой МГД стабильности электролизеров [2].

Благоприятная МГД обстановка на 2-й серии позволила работать при более низких концентрациях глинозема [3] с более высокими технико-экономическими показателями. Так за 15 мес. работы выход по току и удельный расход электроэнергии составили:  $91.91 \pm 0.38\%$  и  $13377 \pm 120$  кВт · ч/т для 1-ой серии,  $92.50 \pm 0.34\%$  и  $13276 \pm 110$  кВт · ч/т для 2-ой серии [3].

При электролитическом производстве алюминия глинозем является основным сырьевым компонентом. На 1 т получаемого алюминия необходимо использовать около 2 т глинозема. Естественно его влияние на показатели достаточно значимо.

Электролизеры обеих серий практически полностью используют фторированный глинозем, прошедший через систему сухой очистки газов (СОГ).

Распыленный в них первичный глинозем эффективно (на 98–99.5%) поглощает газообразные HF,  $\text{NaAlF}_4$  и твердые взвешенные частицы. Отделенный от газового потока на рукавных фильтрах фторированный глинозем (ФГ) направляется на электролиз. При этом значительная часть фторсодержащих соединений возвращается в технологический процесс, существенно сокращая расход дорогих фторсодержащих солей. В настоящее время сухая газоочистка успешно работает на большинстве действующих и на всех вновь вводимых заводах. Между тем сведения о свойствах ФГ и его влиянии на технико-экономические показатели электролиза ограничены.

Нет однозначного мнения и относительно механизма адсорбции летучих фторидов на глиноземе. В случае фторида водорода, по мнению Гротхейма и Велча [4], при низких температурах и давлениях на поверхности глинозема образуется монослой хемсорбированного HF.



При высоких давлениях появляется ограниченное количество физически сорбированного HF.

При нагревании хемсорбированный газ превращается во фторид алюминия и пары воды по реакции (2):



со смещением вправо при низкой температуре ( $K_{400\text{ К}} = 372$ ) и влево при высокой температуре ( $K_{1250\text{ К}} = 7.64$ ). По мнению авторов, хотя это уравнение адекватно описывает принцип, но не является точным.

Поскольку улавливание HF осуществляется поверхностью глинозема, его адсорбционная емкость определяется удельной поверхностью ( $S$ ,  $\text{м}^2/\text{г}$ ).

Емкость мономолекулярного поверхностного слоя глинозема по HF ( $X_m$ , мг HF на грамм  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) предложено [5] оценивать по величине удельной поверхности глинозема  $S$ ,  $\text{м}^2/\text{г}$ :

$$X_m = [(S \cdot M) : (N \cdot A_m)] \cdot 10^{20} = 0.292 \cdot S, \quad (3)$$

где  $M$  – молярная масса HF,

$A_m$  – площадь, занимаемая адсорбированной молекулой HF,

$N$  – число Авогадро.

Учитывая, что удельная поверхность промышленных глиноземов находится в пределах 30–103  $\text{м}^2/\text{г}$  [5, 6], их адсорбционная емкость по HF составляет 9–30 мг/г или 0.9–3 мас. %.

Значительное влияние на адсорбционную емкость глинозема оказывает содержание в нем влаги. Применяемый в промышленности глинозем имеет две характеристики влажности МОИ (Moisture on Ignition), называемой влагой, и ППП (потери при прокаливании). МОИ определяется по потере массы глинозема при нагреве его до 300°C, ППП – при нагреве от 300 до 1000°C. ППП для разных марок глинозема составляет 0.6–1.1% [6]. Суммарное содержание воды в глиноземе не должно превышать 3%. При его увеличении до 3.8 об. %, сорбционная емкость глинозема возрастает в 2 раза [7].

В работе Сираева Н.С. [8] отмечается, что глинозем, обработанный возгонами электролита, смачивается лучше, чем исходный и образует при этом более мягкую корку.

По мнению авторов [9] наличие HF и  $\text{NaAlF}_4$  в глиноземе само по себе незначительно уменьшает время растворения глинозема. Решающую роль в уменьшении времени растворения играет увеличение содержания воды в глиноземе (МОИ и ППП), испарение которой увеличивает турбулентность расплава, что способствует разрушению корки электролита и глиноземных агломератов на мелкие куски, ускоряя их растворение.

Авторы [10, 11] изучали растворимости криолито-глиноземной корки и различных видов глинозема в электролите, применяемым на АО “КЭЗ”. Использовали обычные и фторированные формы глиноземов: недопрокаленного (НП) и укрупненного (ГООК) Уральского алюминиевого завода и рядового Павлодарского глиноземного завода (ГОО). Показано, что загружаемый на поверхность расплавленного электролита глинозем образует корочку, которая плавает на поверхности 10–20 с, затем тонет в электролите, разламываясь на куски. Фторированный глинозем образует более рыхлую корочку, которая быстрее разрушается из-за бурного выделения паров воды и летучих соединений. При одинаковой концентрации глинозема в электролите скорость растворения убывает в ряду НПф, ГООф, НП, ГООК, ГОО. Фторированный глинозем ГООф по скорости растворения превосходит глиноземы НП и ГООК.

Заметное (в 1.5–2.0 раза) увеличение скорости погружения и растворения глинозема в электролите с ростом содержания фтора во ФГ от 0.75 до 1.6 мас. % подтверждено также в работах [12, 13].

В работе [14] исследованы физико-химические характеристики глинозема, прошедшего через систему сухой газоочистки АО “КЭЗ”. В результате установлено:

- среднее содержание фтора во фторированном глиноземе КЭЗа составило: в 2010 г. – 1.523% (диапазон 1.0–2.4%), в 2011 г. – 1.317% (диапазон 0.7–1.4%).

- наблюдается незначительное увеличение содержания примесей Si, Fe, V, P во фторированном глиноземе, однако их увеличение не оказывает существенного влияния на выход по току и сортность выпускаемого алюминия-сырца.

- применяемый на КЭЗе глинозем по своей текучести, углу естественного откоса и пылеуносу удовлетворяет требованиям, предъявляемым к технике и технологии электролитического получения алюминия с высокими технико-экономическими показателями.

- фторированный глинозем можно использовать для укрытия анодов и корки электролита без заметного увеличения расхода фторсолей и загрязнения фторидом водорода воздуха рабочей зоны.

В сообщении [15] кратко изложены результаты анализа влияния на показатели электролиза в основном свойстве первичного глинозема: доли в нем  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ , потери массы при прокаливании, удельной поверхности глинозема.

По среднемесячным данным ОА “КЭЗ” с января 2010 г. по март 2011 г. для двух серий электролиза, работающих на заводе, выполнен регрессионный анализ зависимостей среднего напряжения, выхода по току, удельного расхода электроэнергии от содержания фтора во фторированном глиноземе ( $C_F$ ). Увеличение  $C_F$  на 1% практически не оказывает влияния на величину рабочего напряжения, снижает выход по току на 0.50–1.1% , повышает удельный расход электроэнергии на 110–170 кВт · ч/т [16].

Данные о влиянии природных условий, в частности влажности атмосферного воздуха, на показатели работы алюминиевых электролизеров в литературе отсутствуют. Между тем глинозем на АО “КЭЗ” поступает с Павлодарского глиноземного завода в цистернах, продолжительное время находится в силосах, перемещается в системах ЦРГ и АПГ атмосферным воздухом, влажность которого оказывает влияние на первичный глинозем и тем более на ФГ, прошедший систему сухой очистки отходящих из электролизеров газов.

Цепочка поступления первичного глинозема от производителя АО “Алюминий Казахстана” (АО “АК”) до потребителя АО “КЭЗ” представлена 4 стадиями.

1 стадия – Поступающий в автоцистернах первичный глинозем АО “АК” в среднем за 3 месяца имел следующие параметры влажности, %: ППП – 0.92, влага (МОИ) – 0. При перегрузке аэролифтом в силоса свежего глинозема величина ППП не изменилась, а величина влаги увеличилась до 0.05–0.1%.

2 стадия – Величина ППП во фторированном глиноземе КЭЗ на выходе из СОГ составила 2.41%, что превышает ее величину в первичном глиноземе в 2.6 раза. Содержание влаги также увеличилось до 1.35%. При этом значительное увеличение общего содержания влаги во фторированном глиноземе вызвано влажностью атмосферного воздуха, поступающего на сухую очистку газов.

3 стадия – При транспортировке глинозема из СОГ в бункера АПГ на электролизер он подвергается воздействию окружающего воздуха, вследствие наличия неплотностей в транспортных сетях. При этом величина ППП практически не изменяется, а величина МОИ увеличивается в обычных условиях на 0.03–0.1%, а после дождя на 0.19%, за счет адсорбции влаги из воздуха.

4 стадия – На стадии загрузки глинозема в бункер АПГ до его высыпания из дозаторов АПГ, глинозем частично прогревается в бункере, а содержание влаги в нем уменьшается в среднем на 0.07%. При выгрузке глинозема из дозатора АПГ непосредственно в зону работы пробойника, основная часть влаги испаряется практически мгновенно. В объем электролита поступает примерно 10% исходного содержания влаги. Эта влага, находящаяся на поверхности кристаллов глинозема, в начальный период обволакивается твердой корочкой электролита, но также испаряется достаточно быстро, не достигая рабочей зоны электрохимической реакции. По этой причине величина адсорбционной влаги не должна оказывать значительного влияния на основную электрохимическую реакцию, существенно изменяя при этом состав ФГ.

Цель настоящей работы – на основании анализа заводских данных оценить влияние погодных условий на показатели работы алюминиевых электролизеров ОА “КЭЗ”.

## 2. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

По статистическим данным завода за период с января 2010 г. по март 2011 г. для двух серий электролиза выполнен регрессионный анализ зависимости среднемесячных показателей электролиза (рабочее напряжение, выход по току, удельный расход электроэнергии) от погодных условий в районе АО “КЭЗ”.

В табл. 1 приведены среднемесячные данные по параметрам воздуха в г. Павлодар за 2010 г. и результаты расчетов давления паров воды в конкретных погодных условиях.

В таблице приняты следующие обозначения:

$T$  – температура воздуха на высоте 2.0 м над поверхностью земли, °С;

$P_o$  – атмосферное давление на уровне станции, мм рт. ст.;

$U$  – относительная влажность (%) на высоте 2.0 м над поверхностью земли;

$P_{\text{нас}}$  – давление насыщенного водяного пара при соответствующей температуре воздуха, мм рт. ст.;

Давление насыщенного водяного пара при указанной температуре атмосферного воздуха находили по таблицам справочного портала <http://www.calc.ru/607.html?print=1>

$P_{\text{H}_2\text{O}}$  – давление паров воды при указанных  $P_{\text{нас}}$ , относительной влажности воздуха, атмосферного давления, мм рт. ст. в атмосферном воздухе находили по формуле:

$$P_{\text{H}_2\text{O}}, \text{ мм рт. ст.} = P_{\text{нас}} \cdot \frac{P_o}{760} \cdot \frac{U}{100}. \quad (4)$$

Таким образом, давление паров воды является параметром, учитывающим все характеристики атмосферного воздуха: температуру от –25.9 до 20.6°С, давление насыщенного пара воды при этих температурах 0.32–9.88 мм рт. ст., относительную влажность воздуха 74.8–50.6%, атмосферное давление 767–746.6 мм рт. ст.

Таблица 1

## Среднемесячные данные по параметрам воздуха в г. Павлодар за 2010 г.

Номер месяца	$P_{\text{нас}}$	$T_{\text{воздуха}}$	Давление	Влажность	$P_{\text{H}_2\text{O}}$
		$T$	$P_o$	$U$	
1	0.43	-25.9	764.0	74.8	0.32
2	0.57	-23.2	761.7	74.4	0.43
3	2.34	-7.9	756.0	76.2	1.77
4	6.87	5.7	757.5	58.0	3.97
5	10.81	12.4	751.2	52.2	5.58
6	18.23	20.6	747.9	49.6	8.90
7	16.51	19.0	746.6	60.9	9.88
8	17.55	20.1	749.4	50.6	8.81
9	10.81	12.4	753.1	55.8	5.98
10	6.42	4.7	756.4	64.8	4.14
11	4.58	0.0	754.5	72.9	3.31

Таблица 2

## Результаты работы серий ОАО "КЭЗ"

Номер месяца	1-я серия				2-я серия			
	среднее напряжение	выход по току	удельный расход	$C_F$	среднее напряжение	выход по току	удельный расход	$C_F$
1	4.136	91.68	13437	1.82	4.157	91.73	13497	—
2	4.131	91.86	13394	1.68	4.145	92.1	13405	—
3	4.132	91.83	13402	1.26	4.207	91.5	13700	—
4	4.136	91.70	13432	1.57	4.145	91.4	13420	1.54
5	4.131	91.71	13414	1.57	4.128	92.84	13241	1.55
6	4.133	91.95	13386	—	4.121	92.66	13247	—
7	4.133	92.09	13364	1.19	4.113	92.81	13199	1.64
8	4.132	92.07	13365	1.63	4.116	92.81	13208	1.62
9	4.126	91.45	13439	1.45	4.112	92.25	13276	1.88
10	4.126	91.54	13425	1.37	4.108	92.37	13246	1.53
11	4.128	91.69	13409	1.37	4.112	92.43	13248	1.58
12	4.125	92.24	13319	1.15	4.113	93.04	13167	1.39
13	4.123	92.17	13324	1.23	4.112	93.46	13104	1.37
14	4.117	92.39	13272	1.66	4.117	93.12	13167	1.52
15	4.111	92.23	13276	1.36	4.113	93.05	13165	1.60

В табл. 2 и на рис. 1 приведены среднемесячные показатели работы двух серий ОАО "КЭЗ" и содержание фтора в использованном глиноземе с января 2010 (№ 1) по март 2011 (№ 15).

Если исключить показатели 2-ой серии за март, апрель 2010 г. (№ 3, 4), отчетливо проявляются тенденции снижения среднего напряжения с 4.15 до 4.11 В, повышения выхода по току с 91.7 до 92.7%, сокращения расхода электроэнергии с 13370 до

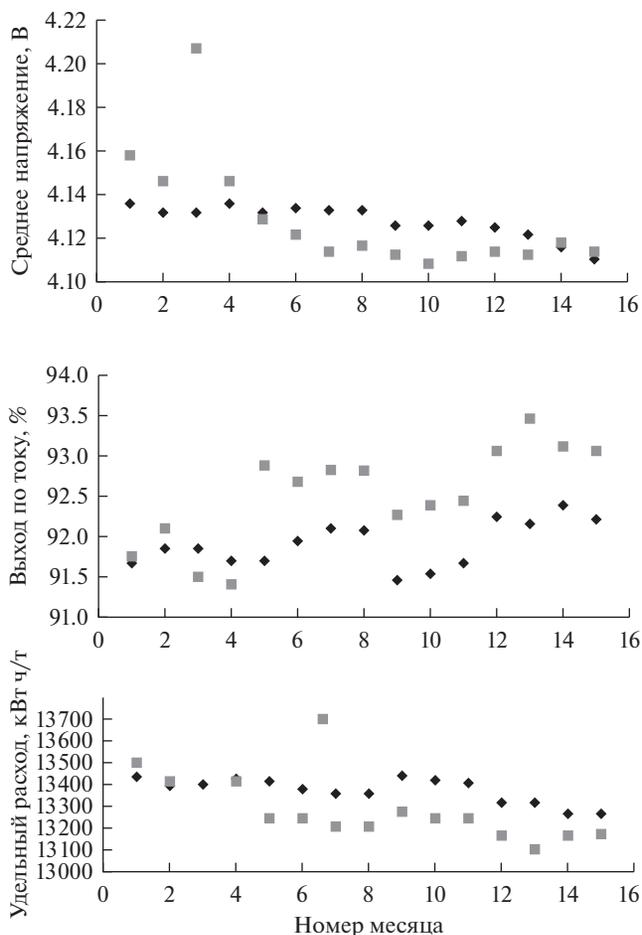


Рис. 1. Изменение среднемесячных показателей работы серий 1 (◆) и 2 (■) КЭЗ с января 2010 г. (1) по март 2011 г. (15).

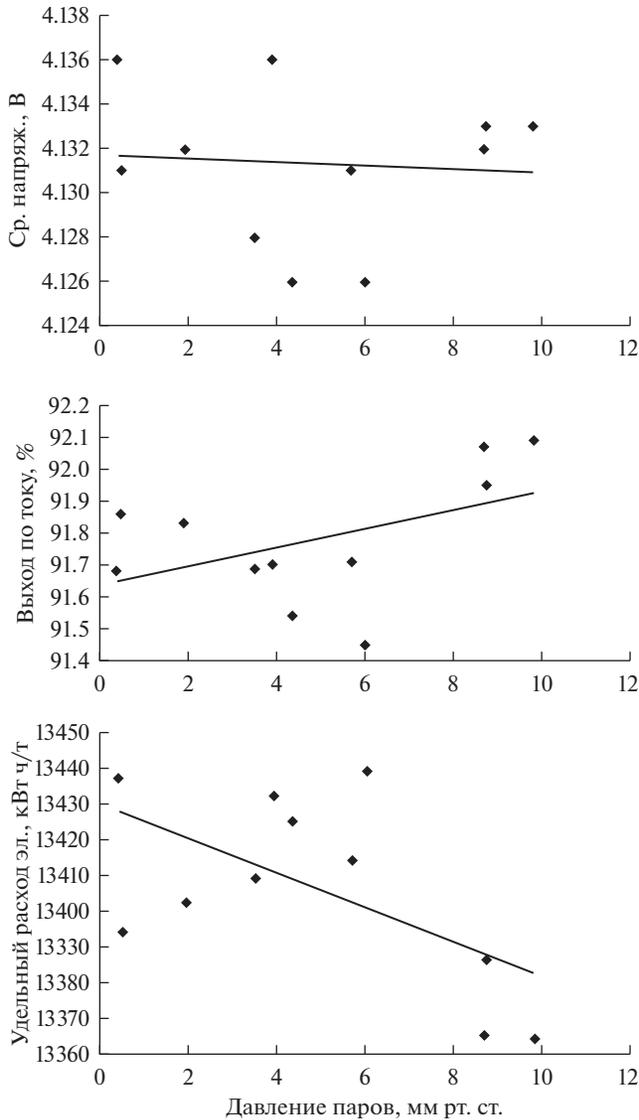
13240 кВт · ч на тонну алюминия, отражающие постоянную работу коллектива завода по совершенствованию технологии обслуживания электролизеров.

Особенно ярко это проявилось для двух серий в конце 2010—начале 2011 гг., когда за счет реализации инноваций выход по току был повышен на 0.60–0.75%, удельный расход электроэнергии снижен на 110–130 кВт · ч на 1 т алюминия. Высокие показатели этих месяцев (12–15) пришлось не учитывать при статистическом анализе.

Для второй серии из рассмотрения так же исключены низкие показатели работы за январь—апрель 2010 г., связанные с серьезными последствиями нарушения технологии обслуживания электролизеров.

Регрессионный анализ № 1 выполнен для 1-ой серии за 11 мес. (1–11), для 2-ой серии за 7 мес. (5–11).

При повторном регрессионном анализе мы постарались нивелировать влияние содержания фтора во ФГ на полученные результаты. Исключены из рассмотрения из-за



**Рис. 2.** Зависимость среднемесячных показателей работы серии 1 от давления паров воды в атмосферном воздухе за 11 мес.

повышенного содержания фтора во ФГ результаты серии 1 за январь, февраль 2010 г. серии 2 за сентябрь 2010 г, а также из-за отсутствия данных о содержании фтора в ФГ за июнь 2010 г. для двух серий.

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ. ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты выполненных регрессионных анализов приведены на рис. 2–5 и в табл. 3.

Значимые, но невысокие величины коэффициентов детерминированности ( $R^2$ ) при анализе № 1 свидетельствуют о приближенном характере полученных зависимостей,

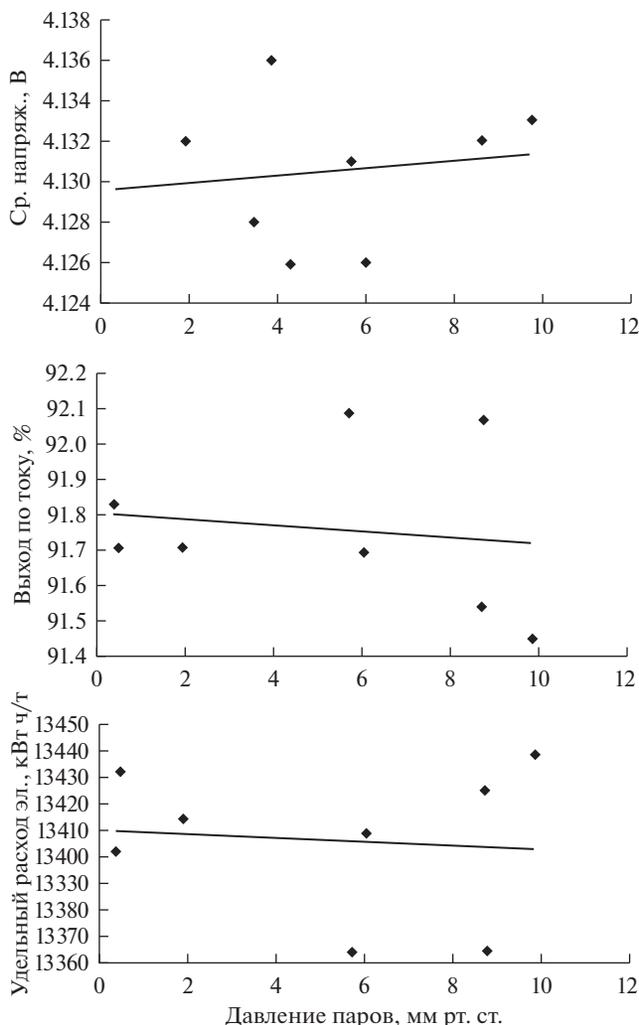
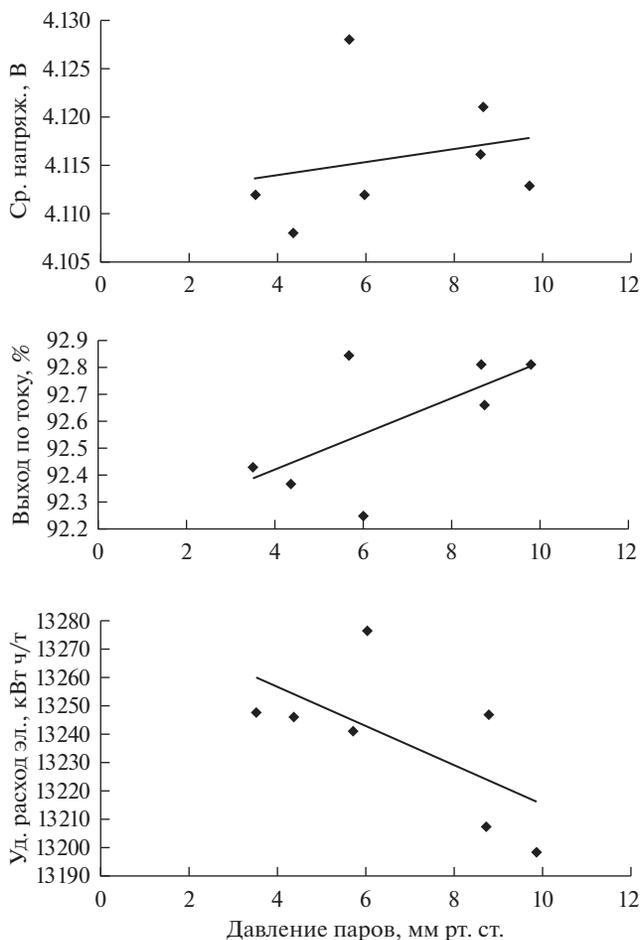


Рис. 3. Зависимость среднемесячных показателей работы серии 2 от давления паров воды в атмосферном воздухе за 8 мес.

обусловленном как погрешностью используемых статистических данных, так и влиянием на показатели электролиза других факторов [15, 16].

Интересно, что зависимости параметров электролиза от давления паров воды в атмосферном воздухе оказались для серии 1 близкими, для серии 2 практически одинаковыми по результатам двух анализов, подтверждая их достоверность.

Существенное повышение коэффициентов детерминированности при регрессионном анализе № 2, подтверждает наличие ранее установленной зависимости показателей электролиза алюминия от содержания фтора во ФГ. Ее нивелирование позволило установить более корректные соотношения, которым мы отдаем предпочтение.



**Рис. 4.** Зависимость среднемесячных показателей работы серии 1 от давления паров воды в атмосферном воздухе за 7 мес.

На величину  $U_{cp}$  давление паров воды в атмосферном воздухе практически не влияет. Это свидетельствует о незначительном изменении состава и свойств оксифторидных ионов, существующих в к.г.р.

Более заметно погодные условия влияют на величины выхода по току и удельного расхода электроэнергии. Повышение давления паров воды на 10 мм рт. ст. приводит к повышению выхода по току на 0.48–0.63%, снижению удельного расхода электроэнергии на 73–79 кВт·ч/т.

Давление паров воды в атмосферном воздухе положительно влияет на показатели электролиза алюминия косвенно, через уменьшение содержания фтора во ФГ, поступающим в криолит-глиноземный расплав. Важную роль при этом играет МОИ (влаги), содержание которой во ФГ повышается с увеличением давления паров воды в атмосферном воздухе, поступающим в систему сухой очистки газов.

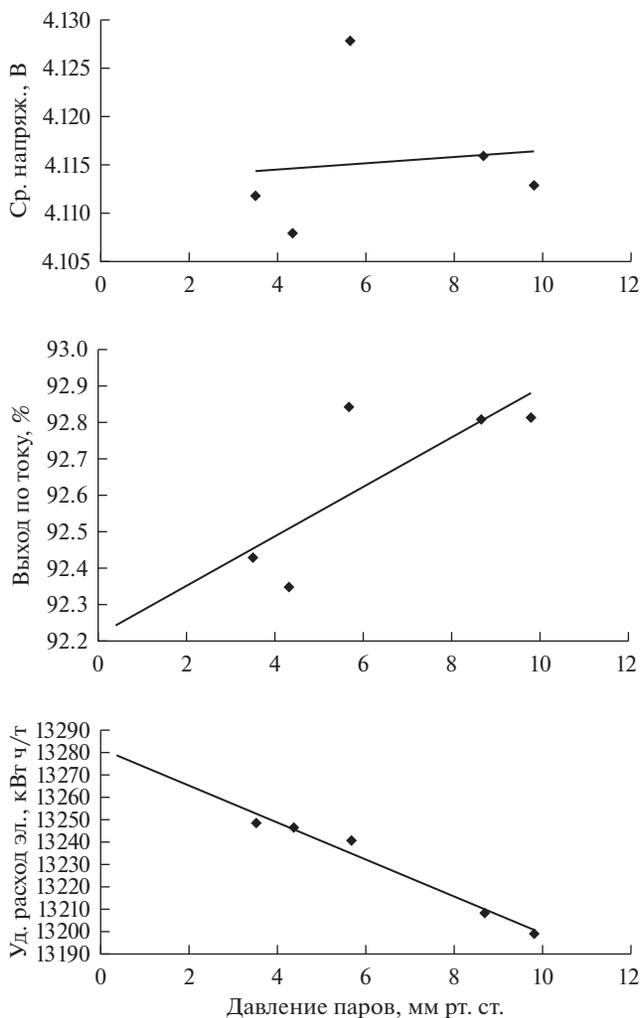


Рис. 5. Зависимость среднемесячных показателей работы серии 2 от давления паров воды в атмосферном воздухе за 5 мес.

При высыпании порции глинозема из дозатора в зону действия пробойников системы АПГ, резко повышается температура ФГ, начинается интенсивное испарение из него влаги, гидролиз  $\text{AlF}_3$ ,  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$  с выделением  $\text{HF}$ . При этом одновременно в соответствии с константой равновесия реакции (2) растет десорбция с поверхности частиц ФГ газообразного  $\text{HF}$ , который вместе с парами воды удаляется из электролизера. В результате заметно уменьшается содержание фтора во ФГ, поступающем в к. г. р., что в соответствии с работой [16] способствует улучшению показателей электролиза.

При работе с первичным глиноземом, содержание влаги в котором незначительно, влияние погодных условий на показатели электролиза ранее не выявлено.

Таблица 3

**Результаты регрессионного анализа зависимости среднемесячных показателей работы двух серий КЭЗ от содержания фтора во фторированном глиноземе**

Номер серии	Номер анализа	Число эл-р	Аппроксимирующие уравнения для показателей	$R^2$
1	1	11	$U_p, В = (4.132 \pm 0.002) - (0.0001 \pm 0.004) P_{H_2O} \pm 0.004$ $\eta_T, \% = (91.64 \pm 0.11) + (0.029 \pm 0.018) P_{H_2O} \pm 0.18$ $W, кВт \cdot ч/т = (13429 \pm 13) - (4.78 \pm 2.22) P_{H_2O} \pm 23$	0.0 0.223 0.341
	2	8	$U_p, В = (4.132 \pm 0.002) - (0.0001 \pm 0.004) P_{H_2O} \pm 0.004$ $\eta_T, \% = (91.59 \pm 0.09) + (0.048 \pm 0.015) P_{H_2O} \pm 0.13$ $W, кВт \cdot ч/т = (13441 \pm 11) - (7.30 \pm 1.91) P_{H_2O} \pm 16$	0.00467 0.616 0.709
2	1	7	$U_p, В = (4.111 \pm 0.009) + (0.0006 \pm 0.0001) P_{H_2O} \pm 0.007$ $\eta_T, \% = (92.16 \pm 0.24) + (0.065 \pm 0.034) P_{H_2O} \pm 0.20$ $W, кВт \cdot ч/т = (13284 \pm 26) - (6.93 \pm 3.73) P_{H_2O} \pm 23$	0.055 0.418 0.408
	2	5	$U_p, В = (4.113 \pm 0.010) + (0.0003 \pm 0.0015) P_{H_2O} \pm 0.009$ $\eta_T, \% = (92.25 \pm 0.20) + (0.0631 \pm 0.029) P_{H_2O} \pm 0.16$ $W, кВт \cdot ч/т = (13278 \pm 6) - (7.89 \pm 0.81) P_{H_2O} \pm 4.7$	0.013 0.619 0.969

#### 4. ВЫВОДЫ

По среднемесячным данным ОА “КЭЗ” с января 2010 г. по март 2011 г. для двух серий электролиза, работающих на заводе, выполнен регрессионный анализ зависимостей среднего напряжения, выхода по току, удельного расхода электроэнергии от давления паров воды в атмосферном воздухе в районе завода ( $P_{H_2O}$ ). Увеличение  $P_{H_2O}$  на 10 мм рт. ст. практически не оказывает влияния на величину рабочего напряжения, повышает выход по току на 0.48–0.63%, снижает удельный расход электроэнергии на 73–78 кВт · ч/т. Наблюдаемые закономерности объяснены уменьшением содержания фтора во ФГ поступающем в к. г. р., за счет удаления из него совместно с парами воды HF, образующегося при гидролизе  $AlF_3$ ,  $Na_3AlF_6$  и десорбции из фторированного глинозема при нахождении его в зоне действия пробойников АПГ.

Хорошая согласованность полученных результатов для двух серий свидетельствует о их достоверности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ибрагимов А.Т., Пак Р.В. Электрометаллургия алюминия. Казахстанский электролизный завод. Павлодар: ТОО “Дом печати”. 2009. 261 с.
- Скорняков В.И., Жаров А.Ф., Веселков В.В., Богданов Ю.В., Смоляницкий Б.И., Надточий А.М., Камаганцев В.Г. Исследование влияния номинальной ЭДС на качество регулировки межполюсного расстояния электролизера на силу тока 300 кА // Цветные металлы. 2005. № 11. С. 57–64.
- Лебедев В.А., Камзин Ж.Ж. Эффективность работы системы автоматической подачи глинозема на Казахстанском электролизном заводе // Вестник ИрГТУ. 2016. № 10. С. 162–170.

4. Гротхем К., Велч Б. Дж. Технология для алюминиевого предприятия / Пер. с англ. Е. Горланова. Братск: БрАЗ. 1989. 164 с.
5. Галевский Г. В., Кулагин И. М., Минцис М. Я. Экология и утилизация отходов в производстве алюминия. Уч. пос. Новосибирск: Наука. 1997. 158 с.
6. Бузунов В. Ю., Печерская Т. Д., Тоянчин А. С. Качество и структура поставок глинозема на алюминиевые заводы РУСАЛ // "Алюминий Сибири-2009". Сб. докл. 15 Межд. конф. (8–10 сентября 2009). Красноярск: ООО "Версо". 2009. С. 249.
7. Васюнина И. П. Потери фторидов и возможности их уменьшения. Красноярск: Высшие Российские алюминиевые курсы. 2005. 19 с.
8. Сираев Н. С. Влияние физико-химических характеристик глинозема на показатели работы алюминиевых электролизеров // Цветные металлы. 1986. № 11. С. 37–41.
9. Исаева Л. А., Поляков П. В. Глинозем в производстве алюминия электролизом. Краснотуринск: Изд. дом ОАО "БАЗ". 2000. 199 с.
10. Камзин Ж. Ж., Выступов Э. А., Янко Э. Л. Изучение растворимости глинозема и криолит-глиноземной корки в электролите алюминиевых электролизеров АО "КЭЗ" // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Наука и образование 3. 2011. Вып. 3. С. 144–149.
11. Камзин Ж. Ж., Рак Р. В., Ибраев И. К., Суюндиков М. М. Растворимость глинозема в электролит-глиноземном расплаве // Наука и техника. Казахстан. 2010. № 3. С. 51–55.
12. Власов Л. А. Интенсификация растворения глинозема в электролитах мощных алюминиевых электролизеров. Автореферат дисс. канд. техн. наук. Санкт-Петербург. 2012. 22 с.
13. Бажин В. Ю., Сизяков В. М., Власов А. А., Храпкова А. Н. Технология дискретного питания для алюминиевых электролизеров // Цветные металлы-2012. Сб. докл. 4 Межд. конгресса (5–7 сентября 2012 г). Красноярск: ООО "Версо", 2012. С. 454–463.
14. Камзин Ж. Ж., Сенин В. И. Исследование свойств различных типов глинозема применительно к Казахстанскому электролизному заводу // Цветные металлы. 2011. № 7. С. 32–35.
15. Камзин Ж. Ж., Лебедев В. А. Влияние физико-химических свойств глинозема на технологические показатели электролиза алюминия электролизеров АО "КЭЗ" // Металлургия легких и тугоплавких металлов. Сб. материалов III Межд. НТК. Екатеринбург: УрФУ. 2014. С. 100–103.
16. Камзин Ж. Ж., Лебедев В. А. Влияние содержания фтора в глиноземе на показатели работы алюминиевых электролизеров Казахстанского электролизного завода // Расплавы. 2017. № 6. С. 4–9.

### **Influence of Weather Conditions on Aluminum Work Indicators of Electrolysis of Kazakhstan Electrolysis Factory**

*V. A. Lebedev<sup>1</sup>, Zh. Zh. Kamzin<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Ural Federal University named after the first Russian President Boris Yeltsin,  
Mira st., 19, Yekaterinburg, 620002 Russia*

*<sup>2</sup>JSC "Kazakhstan Electrolysis Plant", Stalevarov st., 24, Pavlodar, 140001 Republic of Kazakhstan*

According to the average monthly data of OA "KEZ" from January 2010 until March 2011 for two series of electrolysis, working at the plant, a regression analysis of the dependences of the average voltage, current yield, specific consumption of electricity from the water vapor pressure in atmospheric air (P) was performed. Increase in P by 10 mm Hg does not affect the amount of working interference, increases the current efficiency by 0.48–0.63%, reduces the specific power consumption by 73–78 kW · h/t. The observed regularities are explained by a decrease in the fluorine content in flowing into the cryolite-alumina melt of alumina by the removal of desorbed hydrogen fluoride with water vapor in the presence of fluorinated alumina in the range of APG punching.

*Keywords:* fluorinated alumina, fluorine content, water vapor pressure, average voltage, current efficiency, specific power consumption, regression analysis

## REFERENCES

1. Ibragimov A.T., Pak R.V. Electrometallurgy of aluminum [*Elektrometallurgiya alyuminiya*]. Kazakhstan electrolysis plant. Pavlodar: "Press House" LLP. 2009. 261 p. [In Rus.].
2. Skorniyakov V.I., Zharov A.F., Veselkov V.V., Bogdanov Yu.V., Smolyanytsky B.I., Nadtochiy A.M., Kamagantsev V.G. Investigation of the effect of the nominal EMF on the quality of adjustment of the poleto cell distance of the cell to a current of 300 kA [*Issledovaniye vliyaniya nominal'noy EDS na kachestvo regulirovki mezhpolyusnogo rasstoyaniya elektrolizera na silu toka 300 kA*] // Nonferrous metals. 2005. № 11. P. 57–64. [In Rus.].
3. Lebedev V.A., Kamzin Zh.Zh. Efficiency of the automatic alumina feed system at the Kazakhstan electrolysis plant [*Effektivnost' raboty sistemy avtomaticheskoy podachi glinozema na Kazakhstanskoy elektroliznom zavode*] // Vestnik IrSTU. 2016. №10. P. 162–170. [In Rus.].
4. Grothhem K., Welch B.J. Technology for the aluminum enterprise [*Tekhnologiya dlya alyuminiyevogo predpriyatiya*] / Trans. With the English. E. Gorlanova. Bratsk: BrAZ. 1989. 164 p. [In Rus.].
5. Galevsky G.V., Kulagin I.M., Mintsis M.Ya. Ecology and waste utilization in aluminum production [*Ekologiya i utilizatsiya otkhodov v proizvodstve alyuminiya*]. Uch. Pos.. Novosibirsk: Science, 1997. 158 p. [In Rus.].
6. Buzunov V.Yu., Pecherskaya T.D., Toyanchin A.S. Quality and structure of supplies of alumina to aluminum plants RUSAL [*Kachestvo i struktura postavok glinozema na alyuminiyevyye zavody RUSAL*] // Aluminum of Siberia-2009. Sat. Doc. 15 Int. Conf (September 8–10, 2009). Krasnoyarsk: OOO Verso. 2009. P. 249. [In Rus.].
7. Vasyunina I.P. The loss of fluorides and the possibility of their reduction [*Poteri fluoridov i vozmozhnosti ikh umen'sheniya*]. Krasnoyarsk: Higher Russian aluminum courses. 2005. 19 p. [In Rus.].
8. Siraev N.S. Influence of physical and chemical characteristics of alumina on the performance of aluminum electrolyzers [*Vliyaniye fiziko-khimicheskikh kharakteristik glinozema na pokazateli raboty alyuminiyevykh elektrolizerov*] // Nonferrous metals. 1986. № 11. P. 37–41. [In Rus.].
9. Isaeva L.A., Polyakov P.V. Alumina in the production of aluminum by electrolysis [*Glinozem v proizvodstve alyuminiya elektrolizom*]. Krasnoturyinsk: Izd. House of JSC "BAZ". 2000. 199 p. [In Rus.].
10. Kamzin Zh.Zh., Vystupov E.A., Yanko E.L. Study of solubility of alumina and cryolitealumina crust in the electrolyte of aluminum electrolyzers of JSC "KEZ" [*Izucheniye rastvorimosti glinozema i kriolit-glinozemnoy korki v elektrolite alyuminiyevykh elektrolizerov AO "KEZ"*]. Scientific and technical statements of SPbSPU. Science and education. 2011. № 3. P. 144–149. [In Rus.].
11. Kamzin Zh.Zh., Rak R.V., Ibrayev I.K., Suyundikov M.M. Solubility of alumina in an electrolytealumina melt [*Rastvorimost' glinozema v elektrolit-glinozemnom rasplave*] // Nauka i Tekhnika. Kazakhstan. 2010. № 3. P. 51–55. [In Rus.].
12. Vlasov L.A. Intensification of dissolution of alumina in electrolytes of powerful aluminum electrolyzers [*Intensifikatsiya rastvoreniya glinozema v elektrolitakh moshchnykh alyuminiyevykh elektrolizerov*]. Abstract of Diss. Cand. Tech. Sciences. St. Petersburg. 2012. 22 p. [In Rus.].
13. Bazhin V.Yu., Sizyakov V.M., Vlasov A.A., Khrapkova A.N. Technology of Discrete Power Supply for Aluminum Cells [*Tekhnologiya diskretnogo pitaniya dlya alyuminiyevykh elektrolizerov*] // Sb. Doc. 4th Int. Congress Nonferrous metals of Siberia-2012. (September 5–7, 2012). Krasnoyarsk: OOO Verso. 2012. P. 454–463. [In Rus.].
14. Kamzin Zh.Zh., Senin V.I. Investigation of the properties of various types of alumina as applied to the Kazakhstan electrolysis plant [*Issledovaniye svoystv razlichnykh tipov glinozema primenitel'no k Kazakhstanskomu elektroliznomu zavodu*] // Tsvetnye Metally. 2011. № 7. P. 32–35. [In Rus.].
15. Kamzin Zh.Zh., Lebedev V.A. Influence of physical and chemical properties of alumina on technological parameters of electrolysis of aluminum electrolyzers of JSC "KEZ" [*Vliyaniye fiziko-khimicheskikh svoystv glinozema na tekhnologicheskkiye pokazateli elektroliza alyuminiya elektrolizerov AO "KEZ"*] // Sb. Materials III th Int. Scientifictech. Knot. Metallurgy of light and refractory metals. Ekaterinburg: UrFU. 2014. P. 100–103. [In Rus.].
16. Kamzin Zh.Zh., Lebedev V.A. Influence of the content of fluorine in alkaline on the indicators of aluminum electrolyzers of the Kazakhstan electrolysis factory [*Vliyaniye sodержaniya flora v glinozeme na dannyye raboty alyuminiyevykh elektrolizerov Kazakhstanskogo elektroliznogo zavoda*] // Rasplavi. 2017. №6. P. 572–580. [In Rus.].