

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЩЕЛЕВЫХ ГОРЕЛОЧНЫХ УСТРОЙСТВ АЛЮМИНИЕВОГО ЭЛЕКТРОЛИЗЕРА**

Методом математического моделирования определены зависимости интенсивности горения от геометрических параметров горелочного устройства — диаметра и ширины воздухозаборных щелей, а также коэффициента избытка воздуха.

**Ключевые слова:** щелевое горелочное устройство, коэффициент избытка воздуха, полнота дожига, диаметр горелки, ширина воздухозаборных щелей.

Дожиг горючих компонентов анодных газов — окиси углерода и полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), образующихся при электролитическом производстве алюминия в электролизерах с верхним токоподводом, осуществляют в горелочных устройствах. Конструктивно горелочное устройство представляет собой цилиндрическую камеру с патрубком для подвода анодных газов в нижней части и отверстиями для подсоса воздуха в цилиндрической части. Как правило, горелки изготавливают литьем из серого или жаропрочного чугуна, реже сварные из стали.

В горелочном устройстве при смешивании газов с атмосферным воздухом происходит самовоспламенение и горение оксида углерода и органических веществ. Основными условиями поддержания самовоспламенения являются достаточность концентрации горючих компонентов и температуры в зоне смешивания (табл. 1) [1].

Горелки являются, по сути, первой ступенью очистки анодных газов. Эффективность их работы является фактором, определяющим величину выбросов в атмосферу окиси углерода, насыщенных и полициклических углеводородов (ПАУ), наиболее опасным из которых является бензопирен. Если ПАУ дополнительно улавливаются газоочистными установками, то окись углерода обезвреживается только в горелочных устройствах.

На отечественных алюминиевых заводах испытано и эксплуатируется несколько типов промышленных горелочных устройств (рис. 1) [2].

Наиболее распространенными являются щелевые горелки, как самые простые по конструкции, надежные и относительно недорогие в изготовлении и обслуживании (рис. 2).

Все типы горелочных устройств, представленные на рис. 1, являются прямоточными, т.е. в них отсутствует искусственное перемешивание компонентов, поэтому атмосферный воздух подсасывается с избытком, многократно превышающим теоретически необходимый.



Рис. 2 Щелевая горелка

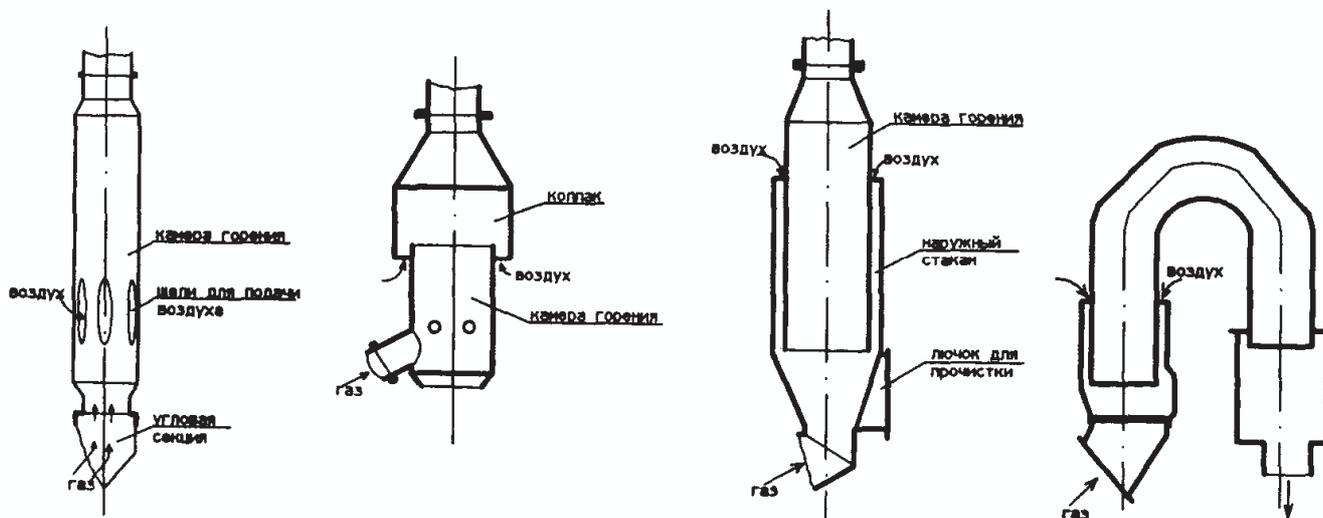


Рис. 1 Основные типы горелочных устройств, эксплуатируемых в корпусах электролизеров ВТ. а) щелевые горелки; б) открытого типа; в) с теплообменником; г) длиннопламенные.

\* — автор, с которым следует вести переписку.

Таблица 1

Концентрационные пределы и температуры воспламенения горючих компонентов анодного газа при смешивании с воздухом

№ п/п	Ингредиент	Концентрационный предел воспламеняемости (взрываемости) в смеси с воздухом, % об.		Температура воспламенения в смеси с воздухом, °С	Содержание в анодном газе, %
		нижний	верхний		
1	СО	12,5	75,0	610	24 – 33
2	СН <sub>4</sub>	5,0	15,0	645	0,1 – 4,0
3	Н <sub>2</sub>	4,1	75	510	1,0 – 8,0

Таблица 2

Основные показатели работы горелок

Наименование	Ед. изм.	Тип горелки		
		щелевая	открытого типа	с теплообменником
Оптимальные условия работы горелок:				
Коэффициент избытка воздуха $\alpha$		$2,4 \leq \alpha \leq 6,0$	$2,0 \leq \alpha \leq 9,0$	$1,05 \leq \alpha \leq 10,0$
Эффективность $\eta$	%	$95 \geq \eta \geq 80$	$95 \geq \eta \geq 80$	$99 \geq \eta \geq 80$
Объем газа, поступающего в горелки	нм <sup>3</sup> /ч	$66 \geq V \geq 10$	$66 \geq V \geq 10$	$66 \geq V \geq 10$
Необходимый объем отсоса газозооной смеси	нм <sup>3</sup> /ч	280	280	150
Количество горелок на корпус, работающих в оптимальном режиме*	%	55	62	90
Средняя эффективность по корпусу $\eta_1$ **	%	64,3	67,5	94,1

\* получено опытным путем

\*\* получено расчетами.

Коэффициент избытка воздуха  $\alpha$  выражает отношение количества воздуха, подсосываемого в горелку, к теоретически необходимому для полного сжигания горючих компонентов анодного газа. Для щелевых горелок эта величина колеблется в пределах 2,4 – 6,0 [2;3](табл. 2).

По данным [4], при  $\alpha < 2,4$  происходит выбиение пламени из воздухозаборных щелей горелки, повышение  $\alpha$  до 6,0 и более приводит к переохлаждению газозооной смеси и снижению температуры в зоне горения. Основными параметрами, определяющими эффективность работы горелочных устройств, являются: температура в зоне горения и время пребывания газа в зоне высоких температур [5].

Для эффективного обезвреживания бензопирена и других ПАУ, дожиг анодных газов должен производиться при температуре 1100–1200 °С. Однако в большинстве действующих горелок эта величина находится в пределах 700–800 °С. При таких температурах эффективность дожигания смолистых веществ не превышает 85–90%, оксида углерода — 90–95%, что является недостаточным для достижения норм ПДВ.

Основная причина низкой температуры в зоне горения и даже погасания — избыточно подсосываемый атмосферный воздух, охлаждающий горелочное устройство до температуры ниже предела воспламеняемости, или «разбавляющий» концентрации горючих компонентов до уровня, находящегося ниже концентрационного предела воспламенения [6].

Расчеты избытка воздуха  $\alpha$ , необходимого для полного сжигания горючих компонентов анодных газов показывают, что оптимальным является

значение  $\alpha = 1,15$ , что в 2 и более раз ниже рекомендуемого  $\alpha = 2,4 – 6,0$ . Корректность теоретического расчета коэффициента избытка воздуха подтверждаются результатами математического моделирования теплофизических и аэродинамических процессов в щелевой горелке (рис. 3 а;б).

Полученные результаты показывают, что при превышении  $\alpha > 1,15$  эффективность дожига окиси углерода резко сокращается и при достижении  $\alpha \geq 2,0$  остается практически на одном уровне (рис. 3 а). Температура горения находится в обратно пропорциональной зависимости и при превышении  $\alpha > 4,0$  может достигнуть «критического» значения, находящегося ниже температурного предела воспламеняемости газовой смеси (рис. 3 б).

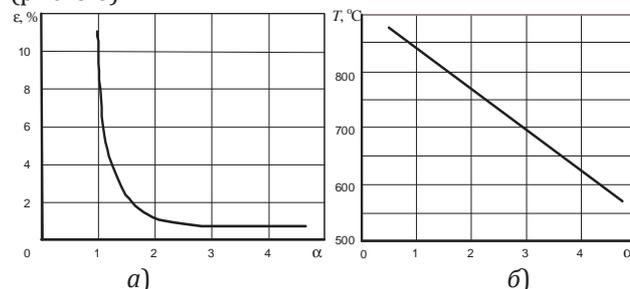
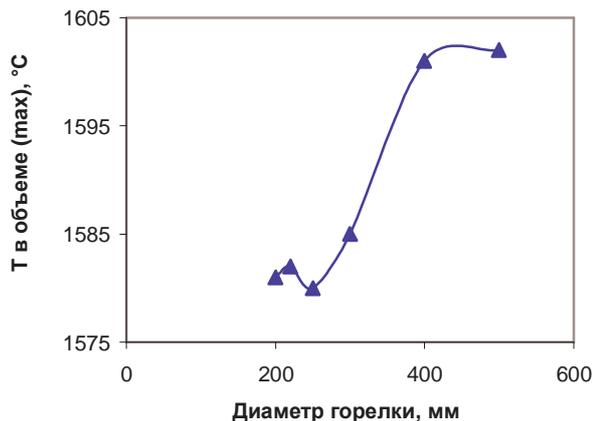
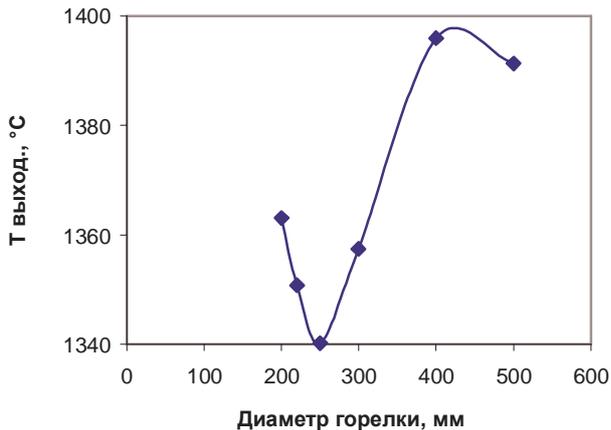


Рис. 3 а) полнота дожига окиси углерода в зависимости от  $\alpha$ ; б) зависимость температуры горения от  $\alpha$ .

Также методом математического моделирования были выполнены исследования влияния геометрических параметров горелочного устройства на эффективность дожига горючих компонентов анодного газа. В частности, было произведено варьирование диаметра горелки и ширины ее воздухозаборных щелей.



а) б)  
Рис. 4 Зависимость температуры газа от диаметра горелки а) на выходе из горелки; б) факела

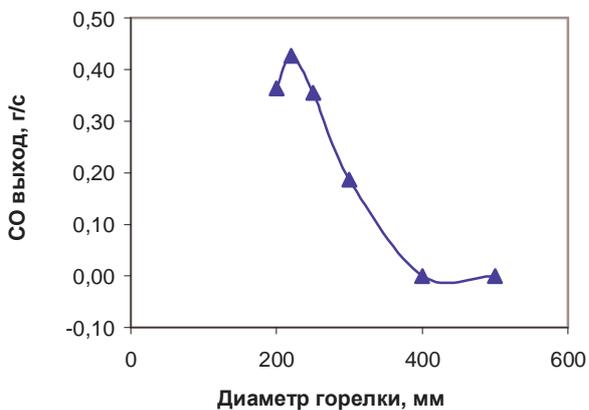


Рис. 5 Расход CO на выходе из горелок различных диаметров

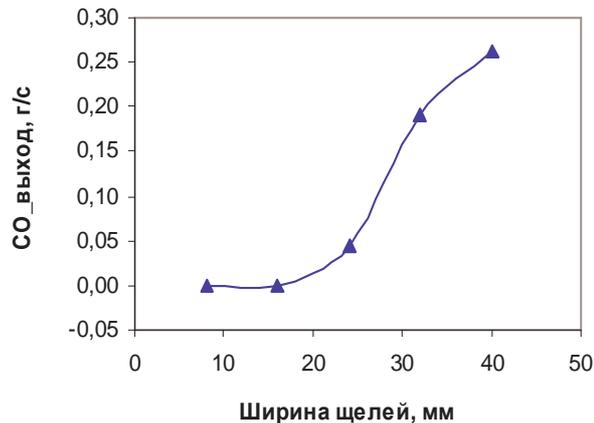
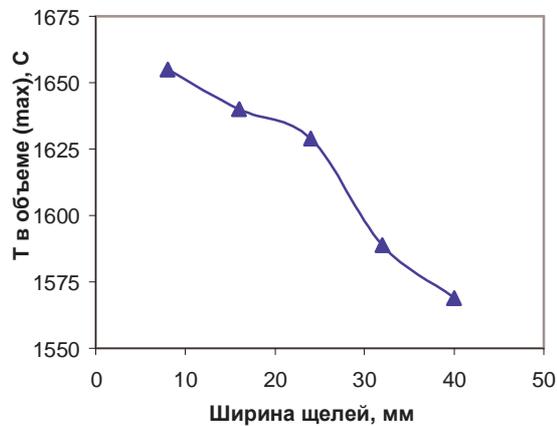
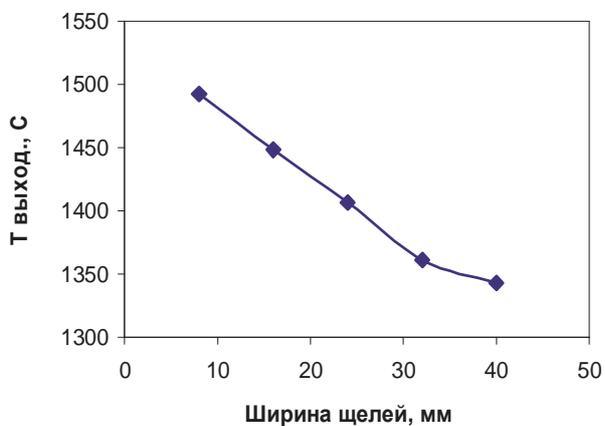


Рис. 6 Зависимость выброса CO из горелки от ширины щелей



а) б)  
Рис. 7 Зависимость температуры газа от ширины щелей а) на выходе из горелки; б) факела

Ширина щелей варьировалась следующим образом: 40 мм, 32 мм (базовый вариант), 24 мм, 16 мм и 8 мм. Диаметр горелки варьировался: 200 мм, 220 мм, 250 мм, 300 мм (базовый вариант), 400 мм и 500 мм (рис. 4 – 7).

Данные, представленные на рис. 4, 5 показывают, что при увеличении диаметра горелки более 250 мм, эффективность дожигания газов повышается и достигает своего максимума при 400–420 мм. При меньших диаметрах, по-видимому, из-за несущественного изменения соотношения диаметров подводящего патрубка и основной части горелки, эффективность смешения горючих газов и окислителя недостаточна. При больших диаметрах эффективность дожигания также сокращается вследствие той же недостаточной эффективности смешения горючих газов и окислителя.

Влияние изменения ширины щелей монотонно. Результаты моделирования, представленные на рис. 6 и 7, показывают, что с уменьшением ширины воздухозаборных щелей интенсивность горения возрастает. Это связано с увеличением проникающей способности воздушных струй с сохранением поперечной площади взаимодействия топлива и окислителя. При этом происходит возрастание необходимого перепада давления в горелке, что повышает характерный уровень необходимого разрежения перед ней при стехиометрических параметрах воздушно-топливной смеси. В результате стабильность горения увеличивается.

По данным математического моделирования, при уменьшении ширины щелей горелки с 32 мм (существующий габарит) до 10 мм, выбросы окиси углерода из горелки сокращаются с 0,2 г/сек. практически до нуля (рис. 5, 6).

#### Выводы

1 Горелочные устройства электролизеров не обеспечивают полноту дожигания горючих компонентов анодного газа, достаточную для достижения санитарных и экологических норм, установленных для алюминиевых заводов. Происходит это вследствие охлаждения горелки избыточно

подсасываемым воздухом, а также низкой интенсивности смешивания сжигаемых компонентов с воздухом.

2 Оптимизация параметров горелочных устройств обеспечит улучшение экологических показателей электролитического производства алюминия за счет увеличения эффективности дожигания горючих компонентов анодного газа при одновременном сокращении объема газоотсоса от электролизера.

3 Применение горелочных устройств с «узкими» воздухозаборными щелями обеспечит увеличение температуры горения в объеме горелочного устройства на 120–160 °С за счет интенсивного перемешивания компонентов.

4 Применение горелочных устройств обеспечит уменьшение объема газоотсоса от электролизера в 2 и более раз.

5 Сокращение объема газоотсоса снизит материалоемкость газоходной сети и энергозатраты на эвакуацию газов; а также обеспечит «поддержание» концентраций горючих компонентов в пределах их концентрационного предела воспламеняемости.

#### Литература

1. Справочник химика – энергетика : в 3 т. / под ред. С. М. Гуревича. — М.: Энергия, 1972. – Т. 1 : Энергетическое топливо. — 215 с.
2. Буркат, В. С. Сокращение выбросов в атмосферу при производстве алюминия / В. С. Буркат, В. А. Друкарев. — СПб., 2005. — 275 с.
3. Куликов, Б. П. Истомин С.П. Переработка отходов алюминиевого производства / Б. П. Куликов, С. П. Истомин. – Красноярск, 2004.- 480 с.
4. Климова, Л. Л. Сравнительная оценка различных горелочных устройств для алюминиевых электролизеров / Л. Л. Климова, Г. А. Павлюченко, Б. А. Белов // Цветная металлургия. – 1979. — № 19. С. 54 – 56.
5. Зиганшин, М. Г. Проектирование аппаратов пылегазоочистки / М. Г. Зиганшин, А. А. Колесник В. Н. Посохин. — М. : Экопресс –ЗМ, 1988. — 505 с.
6. Шахрай, С. Г. Способы повышения эффективности термического обезвреживания анодных газов в горелочных устройствах электролизера / С. Г. Шахрай [и др] : докл. XIII Междунар. конф. «Алюминий Сибири 2007». – Красноярск : 2007. — С. 405 – 409.